

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS ESTIMADOS
PELO ALGORITMO SEBAL EM ÁREAS DE CERRADO
NA BACIA DO ALTO RIO PARAGUAI**

MARCOS ALVES FAUSTO

**PROF. DRA. NADJA GOMES MACHADO
ORIENTADORA**

Cuiabá, MT.
Fevereiro de 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ANÁLISE DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS ESTIMADOS
PELO ALGORITMO SEBAL EM ÁREAS DE CERRADO
NA BACIA DO ALTO RIO PARAGUAI**

MARCOS ALVES FAUSTO

*Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Física Ambiental
da Universidade Federal de Mato
Grosso, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Física
Ambiental.*

PROF. DRA. NADJA GOMES MACHADO

Cuiabá, MT
Fevereiro de 2014

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

F268a Fausto, Marcos Alves.
Análise de parâmetros biofísicos estimados pelo algoritmo
SEBAL em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai / Marcos
Alves Fausto. -- 2014
xvi, 62 f. ; 30 cm.

Orientadora: Nadja Gomes Machado.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física
Ambiental, Cuiabá, 2014.
Inclui bibliografia.

1. Saldo de Radiação. 2. SEBAL. 3. Cerrado. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: ANÁLISE DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS ESTIMADOS
PELO ALGORÍTMO SEBAL EM ÁREA DE CERRADO
NA BACIA DO ALTO RIO PARAGUAI**

AUTOR: MARCOS ALVES FAUSTO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 17 de fevereiro de 2014, pela comissão julgadora:


Prof. Dra. Nadja Gomes Machado - Orientadora
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
IFMT


Prof. Dr. Leone Francisco Amorim Curado - Examinador Interno
Instituto de Física – UFMT


Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira - Examinador Externo
Centro Universitário de Várzea Grande - UNIVAG

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus e ao meu Anjo de Luz, meus pais Maria da Glória e Francisco de Assis pelo amor e ajuda, aos meus amigos que me incentivaram a persistir nesse sonho e também aos meus irmãos pela companhia em todo momento.

AGRADECIMENTOS

- À Deus pela força e sabedoria;
- A Professora Dra. Nadja Machado pela orientação, confiança, paciência, disposição e ajuda na realização do trabalho;
- Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes pelas contribuições e sugestões durante o desenvolvimento do trabalho;
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela grande dedicação, incentivo e empenho em poder tornar esta pós-graduação referência e conceituada no Brasil e no Estado de Mato Grosso;
- Ao Prof. Dr. Bernardo Barbosa Silva pelo curso ministrado no Programa de Pós-graduação em Física Ambiental que motivou a escolher a trabalhar com o Algoritmo SEBAL;
- A minha Mãe que sempre acreditou em mim e em todo tempo pedindo proteção e sabedoria a Deus a meu favor;
- Ao bancário e Dj Wander Azevedo por acreditar e apoiar a realização desse trabalho;
- Aos colegas, que logo se tornaram amigos desde a graduação, Victor Hugo de Moraes, Heloísa Marques, Hozana Silva e Anna Carolinna que ajudaram no decorrer da realização desse trabalho;
- Aos meus amigos da Escola Professora Nadir de Oliveira que me apoiaram durante a elaboração da dissertação;
- Aos meus amigos Gilian Evaristo, Juliana Marcele e Paulo Pessoa pela presença nos momentos difíceis;
- À CAPES pelo auxílio financeiro;

ÉPIGRAFES

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito”.

Chico Xavier

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xiii
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
1.1 PROBLEMÁTICA	3
1.2 JUSTIFICATIVA	3
1.3 OBJETIVO GERAL	4
1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 CERRADO BRASILEIRO	5
2.2 INTERAÇÕES DA RADIAÇÃO SOLAR COM A BIOSFERA - ATMOSFERA	6
2.3 INFLUÊNCIAS DO ALBEDO, TEMPERATURA E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO SALDO DE RADIAÇÃO À SUPERFÍCIE.	9
2.4 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS AO BALANÇO DE RADIAÇÃO	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 ÁREA DE ESTUDO	20
3.2 INSTRUMENTAÇÃO NAS TORRES FMI e FEX	21
3.3 PROCESSAMENTO DO ALGORITMO SEBAL	22
3.3.1 Calibração Radiométrica	25
3.3.2 Refletância Monocromática	26

3.3.3 Albedo Planetário ou Albedo no Topo da Atmosfera.....	26
3.3.4 Albedo da Superfície	27
3.3.5 Índices de vegetação	27
3.3.6 Emissividade.....	28
3.3.7 Temperatura da Superfície.....	29
3.3.8- Radiação de onda longa emitida pela superfície	29
3.3.9 Radiação de onda curta incidente na superfície.....	29
3.3.1.0 Radiação de onda longa incidente pela atmosfera	30
3.3.1.1 Saldo de Radiação.....	31
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICAS	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 MICROCLIMA.....	34
4.2 ALBEDO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE	36
4.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	40
4.4 SALDO DE RADIAÇÃO - R_n	45
5. CONCLUSÕES.....	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das Torres micrometeorológica FMI e FEX na bacia do alto Rio Paraguai.....	20
Figura 2: Diagrama das etapas do processamento do algoritmo SEBAL para a obtenção do R_n à superfície usando imagens do sensor Landsat 5.....	24
Figura 3: Precipitação e temperatura do ar em áreas de Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.....	34
Figura 4: Umidade relativa do ar (UR) em áreas de Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental..	35
Figura 5: Radiação solar global (R_g) medido em áreas de Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.....	35
Figura 6: Variabilidade do albedo da superfície estimado pelo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.....	37
Figura 7: Variabilidade da temperatura de superfície estimada pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.	38
Figura 8: Albedo (a) e temperatura (b) da superfície estimada pelo SEBAL em áreas de Mata Ciliar, Pastagem e Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai... ..	39
Figura 9: Variabilidade espacial do NDVI estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.	40

Figura 10: Variabilidade espacial do SAVI estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai...	42
Figura 11: Variabilidade espacial do IAF estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai..	43
Figura 12: Os índices de vegetação NDVI (a), SAVI (b) e IAF (c) estimados pelo algoritmo SEBAL em áreas de Mata Ciliar, Pastagem e Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.....	44
Figura 13: Saldo de radiação (R_n) medido em áreas de Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.....	45
Figura 14: Saldo de radiação instantâneo ($W.m^{-2}$) e 24h ($W.m^{-2}$) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.....	46
Figura 15: Variabilidade espacial de $R_{n_{inst}}$ estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.	48
Figura 16: Variabilidade espacial de $R_{n_{24h}}$ estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai..	49
Figura 17: R_n instantâneo (a) e 24h (b) estimado pelo algoritmo SEBAL em áreas de Mata Ciliar, Pastagem e Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Esquema dos satélites da família Landsat.....	14
Tabela 2: Localização geográfica das estações micrometeorológicas e dos alvos selecionados para avaliação do Rn_{inst} e Rn_{24h}	21
Tabela 3: Datas das imagens, Temperatura do ar - T_a ($^{\circ}C$), umidade relativa do ar - U_r (%), radiação solar incidente - R_s ($W \cdot m^{-2}$), Radiação de onda longa emitida pela superfície - $R_{ol,inst}$ ($W \cdot m^{-2}$) e media diária da radiação solar incidente medida na torre FMI - R_{s24h} ($W \cdot m^{-2}$).....	23
Tabela 4: Constante de Calibração do Landsat-5 correspondentes aos intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiâncias mínima – $L_{\lambda_{min}}$ e máxima – $L_{\lambda_{máx}}$).....	25
Tabela 5: Critérios de interpretação do desempenho dos valores estimados pelo SEBAL pelo índice (c).....	33
Tabela 6: Estatística descritiva do albedo e temperatura da superfície na estação seca e chuvosa em uma região de Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai.	37
Tabela 7: Estatística descritiva dos índices de vegetação na estação seca e chuvosa em uma região de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai..	43
Tabela 8: Coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmontt (d), Índice de confiança (c), Erro Médio Absoluto (EMA), Erro Médio Percentual (EMP) e Raiz do Erro Médio quadrático para Rn_{inst} e Rn_{24h} em áreas de Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Landsat	Programa de satélite de observação da Terra
TM	Thematic Mapper
FEX	Fazenda Experimental
FMI	Fazenda Miranda
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
R_n	Saldo de Radiação
$R_{n, inst}$	Saldo de Radiação Instantâneo
$R_{n, 24h}$	Saldo de Radiação em 24 horas
SEBAL	Surface Energy Balance Algorithm for Land
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
SAVI	Índice de Vegetação ajustado aos efeitos do solo
IAF	Índice de Área Foliar
MSS	Multispectral scanner
ETM	Enhanced Thematic Mapper
OLI	Operational Land Imager
RBV	Return Beam Vidicon
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
R_g	Radiação solar global
BOC	Balanço de radiação de onda curta
BOL	Balanço de radiação de onda longa
$R_{s\downarrow}$	Radiação de onda curta incidente

REM	Radiação Eletromagnética
α	Albedo da superfície
$R_{L\downarrow}$	Radiação incidente pela atmosfera
$R_{L\uparrow}$	Radiação emitida pela superfície
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
ε	Emissividade do corpo
A_w	Classificação climática de Koppen
T_a	Temperatura do ar
U_r	Umidade relativa do ar
$R_{ol,inst\downarrow}$	Radiação de onda longa emitida pela superfície
P_1	Mata Ciliar (alvo)
P_2	Pastagem (alvo)
P_3	Cerrado (alvo)
ND	Número digital
$L_{\lambda i}$	Radiância espectral
a	Radiância espectral mínima
b	Radiância espectral máxima
$\rho_{\lambda i}$	Reflectância em cada banda espectral
$K_{\lambda i}$	Irradiância solar espectral em cada banda
Z	Ângulo zenital
d_r	Distância média Terra-Sol
DAS	Dia sequencial
α_{plan}	Albedo do topo da Atmosfera

w_p	Razão entre as irradiância de cada banda pela reflectância
T_{sw}	Transmissividade Atmosférica
ρ_4	Reflectância da banda 4
ρ_5	Reflectância da banda 5
L	Constante de ajuste ao solo
ϵ_0	Emissividade da superfície
ϵ_{nb}	Emissividade no domínio espectral do termal
T_s	Temperatura da superfície
$L_{\lambda,6}$	Banda do termal
K_1	Constante de calibração da banda termal
K_2	Constante de calibração da banda termal
S	Constante solar
P	Pressão atmosférica
W	Água precipitável
K_t	Coefficiente de turbidez
T_{24h}	Transmissividade atmosférica em 24 horas
EMA	Erro médio absoluto
EMP	Erro médio percentual
REQM	Raiz do erro médio quadrático médio
r	Coefficiente de correlação de Person
d	Coefficiente de Willmontt
c	Índice de confiança ou desempenho
μm	Micrômetro

Rc	Radiação difusa
Rd	Radiação direta
nm	Nanômetro
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
DGI-INPE	Departamento de divisão de imagens do INPE
ha	Hectare
Ppt	Precipitação
W	Watts
V	Volts
sr ⁻¹	Ângulo sólido
mm	Milímetro

RESUMO

FAUSTO, M. A. Análise de parâmetros biofísicos estimados pelo algoritmo SEBAL em áreas de Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai. Cuiabá, 2013. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental)- Instituto de Física. Universidade Federal de Mato Grosso.

A Paisagem do bioma Cerrado é diversificada. A coexistência de campos, florestas e savana chama a atenção para investigação desse bioma quanto ao uso e as modificações da cobertura do solo, pois essas transformações muda a dinâmica do saldo de radiação (R_n) à superfície. Nesse sentido, a pesquisa analisou os parâmetros biofísicos estimados pelo algoritmo SEBAL em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai. A primeira etapa do estudo foi comparar o R_n estimado pelo SEBAL com os dados medidos nas torres micrometeorológicas da Fazenda Miranda (FMI) e Experimental (FEX), e em seguida analisar os parâmetros biofísicos relacionados à cobertura do solo. Foram usadas 10 imagens do sensor TM Landsat 5 da órbita 226 e ponto 71 no ano de 2009. Os parâmetros estatísticos adotados na pesquisa apresentaram resultados ótimos. Foram encontrados coeficiente de correlação linear de Person na ordem de 0,997 de $R_{n_{inst}}$ e 0,979 de $R_{n_{24h}}$ na FEX, e de 0,993 de $R_{n_{inst}}$ e 0,967 de $R_{n_{24h}}$ na FMI e coeficiente de Willmontt maior que 0,9 entre os valores medidos e estimados pelo modelo. O R_n teve um comportamento sazonal e foi maior em áreas de Mata Ciliar e Cerrado, e na Pastagem houve aumento na estação chuvosa, e menor em comparação as áreas com vegetação permanente. Os índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) foram sensíveis às mudanças na cobertura do solo entre a estação seca e chuvosa, e nas áreas de Cerrado e Mata Ciliar, o albedo e a temperatura da superfície foram menores, e na pastagem maiores. O estudo revelou a aplicabilidade do Algoritmo SEBAL na área de estudo.

PALAVRAS-CHAVES: Saldo de Radiação, SEBAL, Cerrado.

ABSTRACT

FAUSTO, M. A. Analysis of biophysical parameters estimated by SEBAL algorithm in savannah areas in the Upper Paraguay River Basin. Cuiabá, 2013. Dissertation (Master's in Environment Physics)- Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso Cuiabá, 2013.

The savannah is diverse biome. The coexistence of fields, forests and savanna draws attention to this biome research on the use and changes in land cover, since these transformations changes the dynamics of net radiation (R_n) to the surface. In this sense, the research examined the biophysical parameters estimated by SEBAL algorithm in savannah areas in the upper Paraguay River Basin. The first stage of the study was to compare the R_n estimated by SEBAL with data measured in micrometeorological towers Farm Miranda (FMI) and Experimental (FEX), and then analyzes the biophysical parameters related to soil cover. 10 Landsat TM sensor images from orbit 226 5 point and 71 were used in 2009. The statistical parameters adopted in the research presented excellent results. Linear correlation coefficient of Person were found in the order of 0.997 of $R_{n_{inst}}$ and 0.979 of $R_{n_{24h}}$ in the FEX and 0.993 of $R_{n_{inst}}$ and 0.967 of $R_{n_{24h}}$ in the FMI, and Willmontt coefficient greater than 0.9 between the measured and predicted values by the model. R_n had a seasonal pattern and was higher in areas of Riparian Forest and savannah Grassland and there was an increase in the rainy season and lower in comparison areas with permanent vegetation. Vegetation indices (NDVI, SAVI and LAI) were sensitive to changes in land cover between the dry and rainy seasons, and the Cerrado areas and riparian forest, the albedo and the surface temperature were smaller and larger pastures. The study proved the applicability of the algorithm SEBAL in the study area.

KEYWORDS: Radiation Balance, SEBAL, savannah

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

O Cerrado localizado na bacia do alto Rio Paraguai possui uma paisagem diversificada. A coexistência de campos, florestas, relevo, áreas alargáveis e plantações chamam atenção para a investigação nessa localidade quanto às mudanças na cobertura e uso do solo. As transformações decorrentes do uso do solo modificam a distribuição do saldo de radiação (R_n) à superfície, o mesmo exerce um papel importante nos processos dos fluxos de energia, atuando como modelador das condições do tempo e clima, e seu conhecimento possibilita estimar as perdas de água em superfícies vegetadas, sendo eficaz no planejamento e manejo de atividades agrícolas.

Além do conhecimento do R_n , a avaliação dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) contribui para uma análise temporal e espacial das transformações na cobertura do solo decorrente de ações antrópicas ou naturais. Esses índices fornecem informações do vigor da vegetação, pois o aumento/diminuição da biomassa influencia na distribuição nos fluxos de energia. E ainda, contribuem na avaliação do albedo e da temperatura da superfície, parâmetros importantes na avaliação dos componentes do balanço de radiação.

Geralmente, as medições do R_n são feitas em Torres meteorológicas ou micrometeorológicas, porém essas medições não representam a variabilidade espacial da área a ser estudada, sendo realizada em uma área restrita e pontual.

1.2 JUSTIFICATIVA

Nesse contexto surge o sensoriamento remoto que constitui uma ferramenta eficaz para o monitoramento da superfície terrestre, seja em áreas vegetadas ou agrícolas. Um dos mais destacados algoritmos do sensoriamento remoto é o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) e tem sido aplicado em diferentes áreas de estudo.

O SEBAL é um algoritmo que utiliza imagens orbitais e dados de superfície para estimar o R_n e os fluxos de energia, tem grande vantagem em proporcionar o balanço de radiação de maneira econômica e com boa precisão, além de fornecer uma avaliação espacial e temporal dos parâmetros biofísicos.

1.3 OBJETIVO GERAL

- Analisar os parâmetros biofísicos estimados pelo algoritmo SEBAL em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar o saldo de radiação (instantâneo e 24 horas), albedo, temperatura e índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) pelo algoritmo SEBAL;
- Comparar o saldo de radiação estimado pelo algoritmo SEBAL com dados de superfície medidos nas torres micrometeorológicas da Fazenda Miranda e Experimental;
- Espacializar as estimativas para áreas de Mata Ciliar, Cerrado Stricto-Sensu e Pastagem;
- Caracterizar o microclima da área de estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CERRADO BRASILEIRO

Conforme descrição de RIBEIRO et. al. (1998), o Cerrado está localizado no Planalto Central do Brasil, sendo o segundo maior bioma do país em área, apenas superado pela Floresta Amazônica. Trata-se de um bioma que possui relações ecológicas e fisionômicas com outras savanas da América tropical e de continentes como África e Austrália (BEARD, 1953; COLE, 1958; EITEN, 1972, ALLEN & VALLS, 1987).

O Cerrado representa cerca de 20% do território Brasileiro. Ocorre em altitudes que variam de cerca de 140m em Santo Antônio de Leverger, município localizado na Baixada Cuiabana em Mato Grosso (BIUDES, 2008), a mais de 1.600m, na Chapada dos Veadeiros em Goiás (AB'SÁBER, 1983). Nesse bioma predominam os Latossolos, tanto em áreas sedimentares quanto em terrenos cristalinos, com ocorrência de solos concrecionários em grandes extensões segundo a classificação de AB'SÁBER (1983) e LOPES (1984). Abrange uma área contínua nos Estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, parte dos Estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo e também em áreas disjuntas ao Norte nos Estados do Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, e ao Sul, em pequenas "ilhas" no Paraná.

No território brasileiro, as transições acontecem na Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Caatinga (EITEN, 1994) e no Pantanal (ADÂMOLI, 1982; ALLEN & VALLS, 1987). Ocupa ainda áreas na Bolívia e Paraguai, enquanto paisagens semelhantes são encontradas na Colômbia, Guiana, Suriname e Venezuela, recebendo outras denominações como "Llanos".

O Cerrado caracteriza-se pela presença de invernos secos e verões chuvosos, e o clima classificado como Aw segundo Köppen (tropical chuvoso). Possui média anual de precipitação na ordem de 1.500mm, variando entre 750-2000mm (ADÂMOLI et al., 1987). As chuvas são praticamente concentradas entre outubro e março (estação chuvosa) e a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. O contraste entre as superfícies mais baixas (inferiores a 300m), e as longas

chapadas entre 900 e 1.600m e a extensa distribuição em latitude, conferem ao Cerrado uma oscilação térmica bastante grande.

A vegetação apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. Em relação às florestas, apresentam áreas com predominância de espécies arbóreas, com formação de dossel, contínuo ou não.

A flora do Cerrado é característica e diferenciada dos biomas adjacentes, muitas espécies vegetais compartilhem e são encontradas nesse bioma mesmo sendo próprias em outros, no entanto há espécies endêmicas (HERINGER et. al., 1977; RIZZINI, 1979; PRADO & GIBBS, 1993; OLIVEIRA FILHO & RATTER, 1995). Além do clima tem efeitos indiretos sobre a vegetação, da química e física do solo, da disponibilidade de água e nutrientes, e da geomorfologia e topografia, a distribuição da flora é condicionada pela latitude, frequência de queimadas, profundidade do lençol freático, pastejo e inúmeros fatores antrópicos (abertura de áreas para atividades agropecuárias, retirada seletiva de madeira, queimadas como manejo de pastagens) EITEN (1994).

RIBEIRO et al. (2007), descreve o Cerrado como a região de maior biodiversidade do planeta e as estimativas apontam mais de 6.000 espécies de árvores e mais de 40% das espécies de plantas lenhosas, são endêmicas no Cerrado brasileiro. Esse bioma tem sido visto como uma alternativa ao desmatamento na Amazônia especialmente para abertura de novas áreas de cultivo de grãos. Em Mato Grosso, a expansão agrícola e abertura de novas áreas de pastagens tem substituído extensas áreas nativa de Cerrado.

2.2 INTERAÇÕES DA RADIAÇÃO SOLAR COM A BIOSFERA - ATMOSFERA

O Sol é a fonte mais importante de energia para toda a biosfera. Essa energia percorre o espaço e atinge o topo da atmosfera terrestre com uma densidade de fluxo de aproximadamente 1367 W.m^{-2} , valor conhecido como constante solar (J_0). A radiação solar possui um espectro dividido em três regiões: o ultravioleta com comprimento de onda de 0,3 a 0,4 μm ; visível de 0,4 (luz azul) a 0,7 μm (luz vermelha); e o infravermelho 0,7 até 3 μm (MONTEITH, 1973). Essa divisão é

importante para a produção de sensores abordados dos satélites e os que estão na superfície terrestre, a exemplo; os Net Radiômetro instalados em estações meteorológicas e micrometeorológicas e o TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landsat 5.

A radiação solar ao atravessar a atmosfera terrestre sofre atenuação pelos processos de absorção, difusão e reflexão. A parcela que sofre difusão e reflexão é denominada de radiação difusa (R_c) e a que passa diretamente, atingindo a superfície sem sofrer qualquer interação com a atmosfera de radiação direta (R_d). À soma dessas parcelas (R_c e R_d) é denominada de radiação solar global (R_g), importante nos estudos relacionados às trocas de energia no sistema solo-planta-atmosfera (REICHART & TIMM, 2004).

No entanto, características intrínsecas do Planeta Terra modificam a quantidade, a qualidade e a intensidade da radiação solar à superfície, em seu movimento de translação, a Terra se afasta (afélio) e se aproxima do Sol (Periélio) e a inclinação do eixo terrestre produz uma variabilidade da radiação solar durante os 365 dias no hemisfério norte e sul resultando nas estações do ano, e cada local no globo experimenta diferentes quantidades de radiação solar, de acordo com os fatores meteorológicos (PEREIRA et al. 2011).

Os fatores meteorológicos: latitude, altitude, relevo, massas de ar, continentalidade/oceanalidade e correntes oceânicas são agentes causais que condicionam os elementos meteorológicos, como por exemplo: o saldo de radiação, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, velocidade e direção do vento e a pressão atmosférica. Esses fatores fazem com que os elementos variem no tempo e no espaço (REICHART & TIMM, 2004) e produz um comportamento padrão na variabilidade em cada local no globo (PEREIRA et al., 2011).

Além dos fatores já mencionados, a vegetação também influencia na distribuição do saldo de radiação, na temperatura e umidade relativa do ar, produz menores oscilações térmicas no solo. E além da produção de matéria orgânica, mantêm os nutrientes no substrato abaixo do dossel (REICHART & TIMM, 2004).

Nos estudos ambientais, a interação da radiação solar no sistema solo-planta-atmosfera muda à qualidade da radiação, considera-se a radiação de ondas curtas aquela que interage com o solo e a atmosfera, produzindo aquecimento. Esse

aquecimento, de acordo com a Lei de Stephan-Boltzman, faz com que o solo e a atmosfera emitam radiação na faixa do infravermelho distante (acima de 4000 nm).

A essa radiação se dá o nome de radiação de ondas longas, pelo fato de seu comprimento de onda ser maior que o comprimento de onda da radiação solar.

De forma geral, o balanço de radiação à superfície é computado pela diferença entre “ganho e perda” obtida por meio da somatória do balanço de radiação de onda curta (BOC) e onda longa (BOL) conforme FOKEN, (2008) descrito na equação 1.

$$R_n = BOC + BOL \quad (1)$$

O BOC é função da radiação solar global - R_g (direta e difusa) e do albedo da superfície (PEREIRA et al., 2011). A energia solar que incide na superfície terrestre é resultante das interações existentes entre a radiação eletromagnética (REM) e atmosfera terrestre. Parte da radiação incidente é refletida e essa quantidade depende do poder refletor dos corpos (albedo) segundo MENDONÇA, (2007) descrita pela equação 2.

$$BOC = R_{s\downarrow}(1 - \alpha) \quad (2)$$

em que $R_{s\downarrow}$ representam a radiação solar incidente e α o albedo da superfície.

Dessa forma, se for considerado $R_{s\downarrow}$ constante em uma determinada área de estudo, o valor do BOC dependerá do albedo, ou seja, áreas com diferentes coberturas do solo terão valores de BOC diferentes.

A parcela do BOL é função da temperaturas do ar e da temperatura da superfície, e também das emissividades do ar e da superfície. O comprimento de onda da radiação emitida pela Terra e pela atmosfera compreende o intervalo entre 4 a 100 μm faixa espectral importante no estudo dos componentes do R_n , e essa parcela é a mais difícil de ser medida (GUSMÃO, 2011) e por possui grande importância na previsão de variações diurnas de temperatura, geadas, nevoeiros noturnos e resfriamento radiativo noturno (JIMENEZ et al. 1987).

O BOL resulta da diferença da radiação atmosférica incidente e a radiação emitida (Equação 3):

$$BOL = R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} \quad (3)$$

em que $R_{L\downarrow}$ é a radiação incidente pela atmosfera e $R_{L\uparrow}$ é a radiação emitida pela superfície terrestre.

GOMES (2009) descreve que a radiação atmosférica incidente ($R_{L\downarrow}$) é função da temperatura do ar, da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e da cobertura de nuvens; e a radiação emitida ($R_{L\uparrow}$), depende da temperatura do solo e de sua emissividade. Devido à dificuldade de medir a radiação de onda longa da atmosfera faz-se necessário utilizar modelos baseado na lei de radiação de Stefan-Boltzmann (BASTIAANSSEN et al., 1998) conforme a equação 4.

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon\sigma T^4 \quad (4)$$

em que ε é a emissividade do corpo (adimensional) e σ é constante de Stefan-Boltzmann $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

A equação do balanço de radiação pode ser resolvida por uma combinação de dados de sensoriamento remoto, tais como albedo, emissividade e temperatura da superfície, com dados de campo, tais como radiação solar global e radiação de onda longa incidente (BASTIAANSSEN, 1998).

2.3 INFLUÊNCIAS DO ALBEDO, TEMPERATURA E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO SALDO DE RADIAÇÃO À SUPERFÍCIE.

Como já foi mencionado, a R_n depende do albedo de tal forma que, se o valor do albedo for elevado, o balanço de onda curta (BOC) será reduzido, e se o valor do albedo for pequeno, o BOC será elevado. Portanto, em condições idênticas de incidência de onda curta ($R_{s\downarrow}$), superfícies com diferentes valores de albedo terão balanços BOC diferentes. (BASTIAANSSEN et al., 1998).

O albedo é uma medida adimensional e varia segundo as características da superfície, a razão entre a radiação solar direta e a difusa em função do ângulo zenital solar. Para superar as limitações decorrentes da utilização dos albedos

descritos para as superfícies continentais, modelos de transferência de radiação nos dosséis de vegetação têm sido desenvolvidos para considerar a variação do albedo causada por ambos os fatores internos e externos ao dossel (GIONGO, 2008).

Valores altos ocorrem próximo do nascer e pôr-do-sol, e mínimos próximos do meio-dia. Contudo, em muitos casos, a variação não é simétrica, especialmente sobre superfícies vegetadas. Embora os efeitos mencionados anteriormente sobre o albedo tenham sido extensivamente explorados por LEITÃO (1994) e MONTEITH, (1973).

Outra variável de grande importância no cálculo do balanço de radiação usando técnicas de sensoriamento remoto e a temperatura do ar e da superfície. SILVA et al., (2011) e ALLEN et al. (2002) consideraram a variável meteorológica mais medida e de grande importância no monitoramento dos fenômenos climatológicos e meteorológicos, tais como monitoramento de secas, detecção de queimadas, monitoramento da superfície do mar, detecção e monitoramento do estresse hídrico de culturas e estudos de mudanças climáticas. No sensoriamento remoto a estimativa da temperatura da superfície é a mais complicada de ser realizada, devido à complexidade de separar os efeitos atmosféricos e as emissividades da superfície nas medições de radiação pelo sensor remoto. A obtenção da temperatura da superfície terrestre por meio de imagens termais foi a solução para a determinação do balanço de ondas longas (GOMES, 2009).

Tanto o albedo como a temperatura da superfície é influenciada pelo tipo e condições da cobertura da superfície (SILVA et al., 2005). Por isso faz-se necessário avaliar a cobertura do solo, importante no estudo do microclima e da dinâmica das trocas de energia entre o solo e a atmosfera. Em áreas com concentração de vegetação, o R_n tende a ser maior do que em áreas desprovidas de vegetação (solo exposto), as transformações estacionais na superfície modificam a distribuição do R_n ao longo do ano (GOMES et al., 2009; MENDONÇA 2007) e SILVA et al. (2011) descreve que as interações entre a radiação solar com os objetos à superfície condicionam as trocas de calor e massa entre o solo e a atmosfera possibilitando identificar as transformações decorrentes de ações antrópicas ou naturais.

Com o advento do Sensoriamento Remoto orbital, tornou-se possível o monitoramento da evolução espacial e temporal das mudanças na cobertura vegetal da superfície terrestre. Muitas técnicas foram desenvolvidas para a obtenção de reflectâncias espectrais, com o objetivo de indicar o vigor da vegetação (verde) sobre a superfície terrestre (GOMES, 2009). O SEBAL é uma dessas técnicas que vem sendo largamente utilizada em estudos de monitoramento da vegetação.

As modificações na superfície terrestre podem ser avaliadas por meio dos índices de vegetação: o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), SAVI (Índice de vegetação ajustado aos efeitos do solo) e IAF (Índice de Área Foliar). Segundo ROSENDO & ROSA (2005), em áreas de vegetação nativa os valores de índices de vegetação podem sofrer grandes alterações no período estacional e anual, sendo que, as variações estacionais em determinadas regiões são muito marcantes, uma vez que a disponibilidade hídrica é o principal elemento condicionante e também indica o estresse causado pelas ações antrópicas em escala regional na superfície terrestre (PAIVA, 2005).

Segundo WALTHALL et al. (2004), o NDVI é usado em praticamente todas as escalas, compreendendo desde investigações em pequena escala a investigação global, pois parte de sua popularidade advém do fato, da necessidade do cômputo de bandas espectrais que estão praticamente em todos os sistemas de sensoriamento remoto. No entanto, além do NDVI, o SAVI revela a influência dos efeitos do solo no NDVI (ALLEN et al., 2002) e o IAF, o aumento da biomassa na superfície.

O NDVI é bastante usado na agricultura como ferramenta de previsão de safras (IPPOLITI & RAMIRO, 1999) e também no monitoramento de desmatamentos, queimadas e variação na dinâmica da cobertura vegetal (SHIMABUKURO et al., 1998). Além da obtenção do NDVI usando o sensor TM Landsat 5, o NDVI derivado de imagens AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) é o mais utilizado para a análise de cobertura vegetal em escala global (GOMES, 2009).

O uso dos índices de vegetação podem mapear a vegetação, e indicar correlação linear com a radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela vegetação e com o IAF (TUCKER et al., 1985).

O conceito físico se baseia na interação da radiação eletromagnética com os alvos à superfície, cada alvo fornece uma assinatura espectral. Na região do visível entre 400 a 700nm, compreende a maior parte da radiação que incide sobre a superfície terrestre, dessa faixa a combinação que possui maior interação com o dossel vegetativo são a bandas do vermelho (0,62 – 0,69 μm) e no infravermelho próximo (0,78 – 0,90 μm), nessa faixa espectral ocorre a maior parte da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes no mesófilo das folhas (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

No entanto, há algumas limitações quanto ao uso dos índices de vegetação que podem ser diferentemente afetados pela: arquitetura do dossel, as características químicas das folhas, o substrato abaixo do dossel ou sobre o solo e a presença de água (BARET & GUYOT, 1991). Tais agentes interferem na assinatura espectral modificando a reflectância dos alvos à superfície.

O avanço da fronteira agrícola e o conseqüente desmatamento das florestas e Cerrados nativos, o uso sem planejamento do solo, despertaram a necessidade de avaliar e monitorar a evolução espacial e temporal da cobertura vegetal e as técnicas do sensoriamento remoto se revelou uma ferramenta indispensável para o monitoramento da superfície terrestre.

2.4 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS AO BALANÇO DE RADIAÇÃO

Há muitas definições do conceito sobre sensoriamento remoto, uma delas é descrita por FLORENZANO (2002) como sendo a tecnologia que permite obter imagens da superfície terrestre por meio da captação ou do registro da energia refletida ou emitida pelos alvos à superfície.

Uma das vantagens em utilizar imagem orbital esta relacionado ao baixo custo de seus produtos, suas imagens a partir de 2006 são distribuída gratuitamente pelo Departamento de Divisão de Imagem do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (DGI-INPE), o acesso gratuito as imagens impulsionou muitas pesquisas na área das ciências ambientais e no monitoramento de cultura. Outra vantagem, é a

freqüência com que cada região na superfície da terra é imageada, permitindo o monitoramento temporal de diferentes fenômenos e de recursos naturais.

Os novos satélites a serem lançado a partir de 2013, irão produzir dados com alta resolução espacial, contribuindo ao melhoramento do sensoriamento a ser aplicada numa variedade de áreas do conhecimento e enfatizando a necessidade de formas automáticas para o processamento e análises de imagens (GIONGO, 2008).

Os satélites usados para monitoramento da Terra tem o objetivo de fornecer imagens da superfície. Existem dois tipos de satélites:

- Geostacionários ou geossincronizados que são posicionados num ponto fixo no espaço de uma maneira que se sincronizem com a rotação da Terra e permaneçam sempre estacionados sobre um ponto geográfico da superfície terrestre;
- Solar sincronizado que ficam circulando de pólo a pólo, cruzando o plano da linha do equador (MENESES et al., 2012).

Os satélites usados no sensoriamento remoto carregam a bordo sensores de imageamento. Há dois critérios nesses sensores: resolução espacial e resolução espectral. A resolução espacial refere-se ao campo de visada instantânea, e indica o tamanho do pixel no terreno ou a menor área possível a ser abrangida por uma unidade de imagem e quanto maior for à resolução espacial, melhor será o detalhamento de objetos em cena, resultando em um conjunto maior de informações.

FLORENZANO (2008) e LIU (2006) definem resolução espectral como sendo a capacidade de um sensor de medir a reflectância de uma determinada faixa de comprimento da onda eletromagnética, ou seja, é a capacidade que um sensor tem para discriminar objetos em função da sua sensibilidade espectral. A faixa espectral mais estreita determina a resolução mais alta. Já a resolução radiométrica refere-se à capacidade de discriminação das intensidades de energia refletida ou emitida pelos objetos à superfície, e a resolução temporal indica a freqüência com que o satélite passa sobre o mesmo local em um determinado tempo.

O princípio básico de funcionamento dos sensores remotos é a captura da energia refletida ou emitida pela superfície em diferentes faixas espectrais. Os olhos humanos são sensibilizados apenas com a radiação da região do visível, enquanto que os sensores ópticos captam a radiação da região do visível e do infravermelho

(MENESES et al., 2012). Em dias com nebulosidade ou nublado, não é possível o imageamento da superfície usando sensores passivos, no entanto, nessa ocasião utilizam os sensores ativos, a exemplo, os radares que podem operar durante a noite, dias nublados, com chuva ou com fumaça, sendo uma vantagem para as áreas localizadas em países tropicais como o Brasil, que ficam parte do tempo coberto por nuvens praticamente todos os dias (FLORENZANO, 2008).

Os satélites da família Landsat são destinados à exploração dos recursos da Terra e desde 1972 foram lançados com sucesso uma série de 7 satélites: 1, 2, 3, 4, 5, 7 e o 8 lançado em abril de 2013. O Landsat tem uma grande série temporal de dados e suas imagens são gratuitas. Os primeiros satélites da família Landsat foram equipados com o sensor MSS (*Multispectral Scanner*) com quatro bandas de 80m de resolução. Logo depois, o Landsat 4 e 5 ganharam o sensor TM (*Thematic Mapper*). Esses sensores multiespectrais geram imagens da superfície com média resolução espacial. No entanto essas imagens possuem reduzida qualidade. O Landsat 7 adquiriu o sensor ETM (*Enhanced Thematic Mapper*), um sensor pancromático e dois sensores de banda termal, no entanto teve problema em seu funcionamento e em 2003 suas imagens não eram utilizadas (GUSMÃO, 2009).

Tabela 1: Esquema dos satélites da família Landsat.

Satélite	Data de Lançamento	Sensor a bordo	Fim de Operação
Landsat 1	23 de julho de 1972	MSS e RBV	Janeiro de 1978
Landsat 2	22 de janeiro de 1975	MSS e RBV	Julho de 1983
Landsat 3	05 de março de 1978	MSS e RBV	Setembro de 1983
Landsat 4	16 de julho de 1982	TM e MSS	Setembro de 1984
Landsat 5	01 de março de 1985	TM e MSS	Dezembro de 2012
Landsat 6	05 de outubro de 1993	ETM	Fracassou
Landsat 7	05 de abril de 1999	ETM	Mai de 2003
Landsat 8	30 de Maio de 2013	OLI	Em atividade

O Landsat 5 foi lançado em órbita em 1 de março de 1984, sobreviveu 29 anos e forneceu imagens da superfície até o ano de 2011, seu tempo de vida e produção foi superior aos seus antecessores e ao Landsat 7, atualmente não está

ativo, e a partir de maio de 2013 passou a operar o Landsat 8, lançado em 24 de abril de 2013. As imagens são enviadas às estações de recepção localizadas em várias regiões do globo via satélites de comunicação para receberem os sinais registrados pelos sensores que possuem distribuição de energia para a operação de instrumentos, sensores e equipamentos de suporte, controle de estabilidade da altura relacionada às estações terrestres e intercomunicação com os ônibus espaciais.

O Landsat 5 fornecem uma resolução espacial de 30 m, com exceção da banda 6 (banda termal) com 120 m, em comparação com o sensor MSS oferece uma geométrica aperfeiçoada, maior detalhe radiométrico e melhor definição das bandas espectrais. A órbita do Landsat 5 é circular, quase polar, sincronizada com o sol e com uma altitude de 705 km. Em Cuiabá, está localizada a antena do Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que recebe de forma contínua as imagens de todo o território nacional, constituindo um enorme acervo de dados de um longo período sobre o Brasil e a América Latina. Cada banda espectral do Landsat 5 fornece uma resposta (assinatura espectral) dos objetos sobre a superfície terrestre:

- **Banda 1** (0,45 - 0,52 μm) apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
- **Banda 2** (0,52 - 0,60 μm) Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
- **Banda 3** (0,63 - 0,69 μm) - A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da vanação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a

mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.

- **Banda 4** (0,76 - 0,90 μm) - Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
- **Banda 5** (1,55 - 1,75 μm) - Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
- **Banda 6** (10,4 - 12,5 μm) Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
- **Banda 7** (2,08 - 2,35 μm) Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Para a visualização e confecção dos produtos em papel, uma imagem em preto e branco é composta com apenas uma banda, enquanto que uma imagem colorida é feita com 3 bandas, associando-as às bandas as cores azul, verde e vermelha (RGB), a sua escolha. De acordo com o Departamento de divisão de Imagem do INPE, as principais combinações das faixas espectrais para imagens coloridas em papel são:

- **Combinação espectral 3, 2 e 1:** imagens em "**cor natural**", com boa penetração na água, realçando as correntes, a turbidez e os sedimentos. A vegetação aparece em tonalidades esverdeadas.
- **Combinação espectral 4, 3 e 2:** define melhor os limites entre o solo e a água, ainda mantendo algum detalhe em águas pouco profundas, e mostrando as diferenças na vegetação que aparece em tonalidades de vermelho.
- **Combinação espectral 3, 4 e 5:** mostra mais claramente os limites entre o solo e a água, com a vegetação mais discriminada, aparecendo em tonalidades de verde e rosa.
- **Combinação espectral 2, 4 e 7:** mostra a vegetação em tons verdes e permite discriminar a umidade tanto na vegetação como no solo.

São muitas as aplicações das imagens fornecidas pelo Landsat, que são descritas por LIU (2006): Acompanhamento do uso do solo; apoio ao monitoramento de áreas de preservação; atividades mineradoras, cartografia e atualização de mapas; monitoramento de desmatamentos; detecção de invasões em áreas indígenas; dinâmica de urbanização; estimativas de fitomassa (índices de vegetação); monitoramento da cobertura e condições de crescimento vegetal; queimadas; secas e inundações, sedimentos em suspensão e monitoramento da qualidade da água. Além das estimativas usando modelos para o cômputo do balanço de radiação e energia à superfície descrita nos trabalhos de SILVA et al., (2011), ALLEN et al., (2002) e BASTIAANSEN et al. (1998), um exemplo desse modelo é o algoritmo SEBAL.

GIONGO (2008) faz uma boa descrição do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), a utilização do modelo tem produzido resultados satisfatórios tanto em superfícies heterogêneas ou homogêneas, obtidos por meio da variação espacial de parâmetros micrometeorológicos com base em funções empíricas.

O autor do algoritmo, o holandês BASTIAANSEN (1995), desenvolveu e validou os resultados estimados pelo SEBAL usando imagens do sensor TM do Landsat 5 na Espanha e no Egito. Trabalho semelhante feito por ROERINK et al.

(1997) utilizou o mesmo sensor para monitorar irrigação na Argentina e no Paquistão, em conjunto com o sensor AVHRR/NOAA.

O algoritmo SEBAL também pode ser processado usando imagens de outros sensores remotos, na pesquisa desenvolvida por HAFEEZ & CHEMIN (2002) usaram imagens do sensor ASTER nas Filipinas, e concluíram que a combinação de alta-resolução espacial dos sensores ETM do Landsat 7 e o ASTER com a alta resolução temporal dos sensores MODIS e AVHRR obteve-se alta precisão nos estudos de balanços hídricos e usos da água, em escalas regionais (GIONGO, 2008).

O SEBAL pode ser usado para estimativa do balanço de radiação e dos fluxos de energia em grandes áreas (TREZZA, 2002), já ALLEN et al. (2002) define a aplicabilidade do modelo baseando-se no balanço de energia, podendo ser utilizado por qualquer sensor remoto que registre a radiação nos comprimentos de onda do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal.

No Brasil, MENDONÇA et al. (2004) aplicaram o SEBAL em uma região do Norte Fluminense no Rio de Janeiro, avaliando o desempenho do modelo utilizando imagens do sensor Landsat 7 e revelaram resultados coerentes em toda a área de estudo, o estudo mostrou a potencialidade do algoritmo para a estimativa da evapotranspiração. A evapotranspiração é o produto final do modelo, o cálculo do saldo de radiação é uma etapa anterior às estimativas dos fluxos de energia, dessa forma o SEBAL possibilita obter os componentes do balanço de energia, do saldo de radiação, dos índices de vegetação, do albedo e da temperatura da superfície (SILVA et al., 2011).

Esse algoritmo utiliza os dados gerados a partir de imagens de satélites para determinação desse balanço em aplicações meteorológicas. São muitos os métodos destinados à estimativa do balanço de radiação, de energia e da evapotranspiração, pode-se citar o método do balanço de energia, o método do balanço hídrico no solo, o método da razão de Bowen, os métodos das correlações turbulentas e, o mais atual as metodologias que usam medições radiométricas de sensores orbitais (BIUDES, 2008).

Segundo ALLEN et al. (2002), todos os métodos citados apresentam muita confiabilidade, e são capazes de oferecerem medidas com boa precisão. Porém, os

métodos apresentam limitações quando se pretende fazer estimativas da evapotranspiração e do R_n para grandes áreas, pois essas estimativas são baseadas em dados pontuais para um local específico, e são integradas para a área que envolve o local da medição, levando-se em consideração que a evapotranspiração é uniforme na referida área (SILVA et al., 2005b; GIONGO, 2008).

Por meio do algoritmo SEBAL é possível estimar os componentes do balanço de radiação e energia, baseado em combinações dos comprimentos de onda e parametrizações físicas (BASTIAANSSEN et al., 1998). O método faz uso das radiâncias espectrais capturado pelos sensores remotos, juntamente com um conjunto mínimo de dados meteorológicos de superfície. No caso do R_n , a temperatura e a umidade relativa do ar medido em estações meteorológicas à superfície, e também da radiação incidente diária que chega a superfície no dia e hora em que o sensor remoto passa sobre a região de estudo.

O site do SEBAL informa que o algoritmo é resultado de 15 anos de pesquisa e tem aplicações muito úteis em diversos estudos ambientais como na gestão de recursos hídricos de bacias hidrográficas, na avaliação e administração de lâminas de irrigação e também na modelagem hidrológica. A utilidade do SEBAL na gestão de recurso hídrico serve para quantificar as perdas de água de uma bacia com alta distribuição espacial e temporal, o que é importante na modelagem hidrológica, permitindo uma gestão mais racional da bacia hidrográfica. Nesse sentido destaca se trabalhos com aplicações do SEBAL em estudos de bacias hidrográficas os de BASTIAANSSEN (2000) realizado na Turquia, Mohamed et al. (2004) no Egito, AYENEW (2003) na Etiópia e BASTIAANSSEN & ALI (2003) no Paquistão.

Além do sucesso na aplicabilidade do algoritmo em outros países, no Brasil tem sido usado na agricultura irrigada, que visam determinar o consumo hídrico de culturas. Na área do perímetro irrigado na região Nordeste do Brasil, especialmente nos estados de Bahia e Pernambuco, destaca-se pesquisa realizada por LOPES, (2003), BEZERRA (2004) e SILVA et al. (2011) e ainda na região do Cariri, no Ceará os de BEZERRA (2006), no Rio de Janeiro na região norte fluminense os trabalhos de MENDONÇA (2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada em uma região em condições de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai no estado de Mato Grosso. A área de recorte possui 37,147 mil ha, onde se encontra localizada duas torres micrometeorológicas, sendo uma instalada na Fazenda Miranda (**FMI**) e outra na Fazenda Experimental (**FEX**) da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT (Figura1).

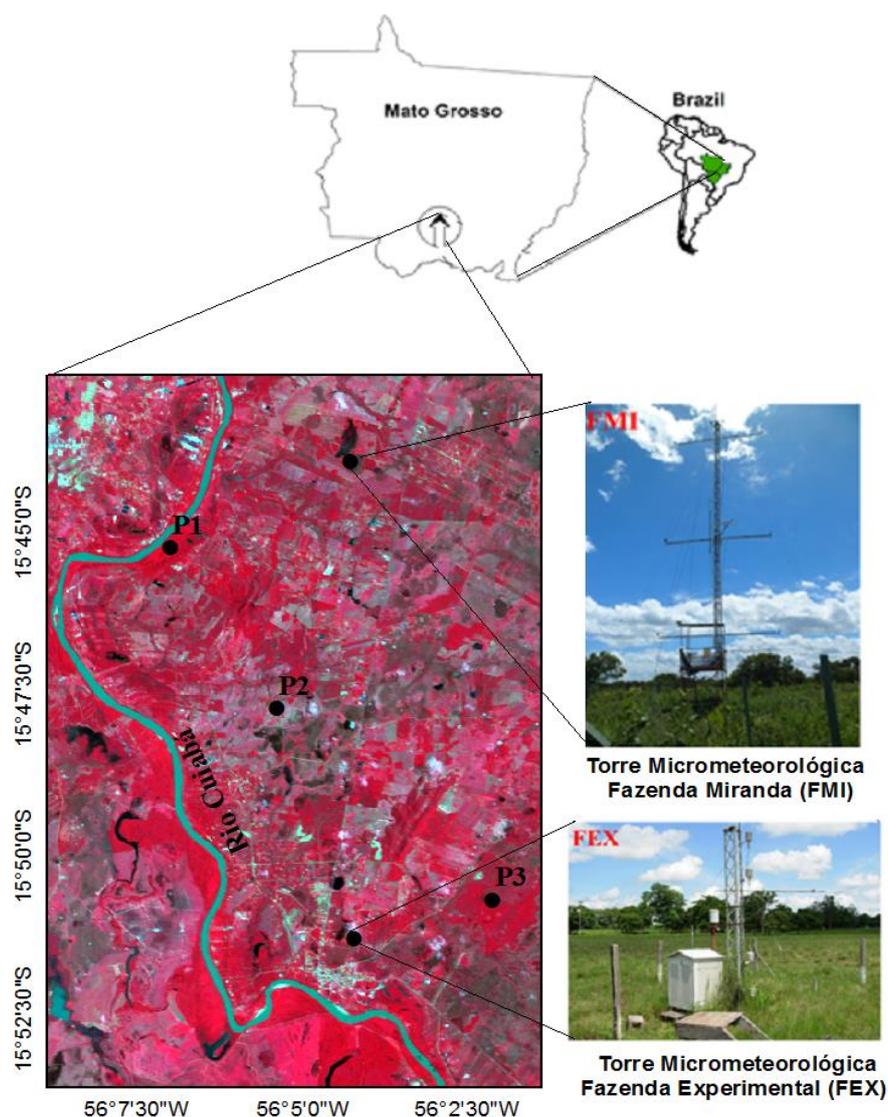


Figura 1: Localização das Torres micrometeorológica FMI e FEX na bacia do alto Rio Paraguai.

O solo da região foi classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO *Eutrófico gleissólicoda* e o clima são tropical semiúmido (A_w) segundo a classificação de Köppen. A região possui duas estações bem definidas, uma seca entre os meses de abril a setembro, e outra chuvosa entre os meses de outubro a março (FONSECA, 2008).

A comparação entre o Rn_{inst} e o Rn_{24h} estimado pelo SEBAL com os dados medidos nas Torres FEX e FMI considerou o pixel exato da localização das torres. E para os alvos selecionados, foram realizadas média de 5 pixel para melhor representar os parâmetros biofísicos nesses ambientes. Na tabela 2 estão indicadas as localizações das torres micrometeorológicas e dos alvos selecionados para estudo.

Tabela 2: Localização geográfica das estações micrometeorológicas e dos alvos selecionados para avaliação do Rn_{inst} e Rn_{24h} .

Área de estudo	Latitude	Longitude
(FMI) Torre Micrometeorológica FMI	15°43'53,6"	56°04'18,7"
(FEX) Torre Micrometeorológica FEX	15°51'10,1"	56°04'13,2"
(P1) Mata Ciliar	15°45'08,9"	56°07'02,2"
(P2) Pastagem	15°47'43,0"	56°05'23,6"
(P3) Cerrado	15°50'57,7"	56°02'49,3"

3.2 INSTRUMENTAÇÃO NAS TORRES FMI e FEX

A torre micrometeorológica da Fazenda Miranda (FMI) e Experimental (FEX) possuem um sistema de aquisição de dados microclimáticos. Ambas as torres medem as seguintes variáveis meteorológicas: temperatura do ar, T_a ; umidade relativa do ar, UR; velocidade do vento, u ; precipitação pluviométrica, Ppt; temperatura do solo, T_s ; e saldo de radiação (R_n) e radiação solar global (R_g). A diferença é à disposição dos sensores ao longo da torre.

Na Torre da Fazenda Miranda (FMI) havia instalados três termohigrômetros modelo HMP45AC (Vaisala, Inc., Woburn, MA, USA) distribuídos em três alturas; a 5, 10 e a 18m em relação ao nível do solo. Um saldo radiômetro modelo NR-

LITE-L25 (Kipp & Zonen, Delft, The Netherlands) e um piranômetro modelo LI200X (LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA) instalados a 5m de altura.

A precipitação pluviométrica (Ppt) foi medida por meio de um pluviômetro de balança modelo TR-525M (Texas Electronics, Inc., Dallas, TX, USA) instalado a 5m do solo. A energia para alimentar o sistema era constituída por uma bateria de capacidade de 150 Ah, alimentada por um painel solar modelo SP65(Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA), com 65 W de potência.

Na Torre da Fazenda Experimental (FEX) as medidas micrometeorológicas foram realizadas com sensores dispostos em um mastro de 4m altura. O saldo de radiação sobre o dossel da pastagem foi medido por um saldo radiômetro (Net Radiometer, Kipp & Zonen Delft, Inc., Holland), a radiação solar global incidente por um piranômetro (LI-200, Campbell Sci, Inc., USA). O perfil de temperatura e umidade do ar medido por quatro termohigrômetros (HMP 45 C, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland), a 0,5; 1,2; 2,8 e 3,5 m de altura do solo. A precipitação foi medida por um pluviômetro de balança (TB4-L25, Campbell Sci, Inc., USA) a 1,8 m do solo. Todos os equipamentos foram alimentados com tensão de 12 V por uma fonte AC/DC de 10 A, alimentada pela rede de corrente alternada de 127 V disposta no abrigo meteorológico.

Em ambas as torres micrometeorológicas os dados foram produzidos por sinais e pulsos elétricos dos transdutores, processados e armazenados em um datalogger (CR 10X, Campbell Scientific, Inc., Ogden, Utah), com médias de 15 minutos na Fazenda Experimental (FEX) e 30 minutos na Fazenda Miranda (FMI).

3.3 PROCESSAMENTO DO ALGORITMO SEBAL

Foram usadas imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 da órbita 226 e ponto 71 fornecida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram usadas as seguintes imagens na pesquisa: (18/05), (03/06), (21/07), (06/08), (22/08), (07/09), (09/10) e (10/11) (10/01), (31/03) do ano de 2009, sem a presença de nuvens. A partir dessas imagens, foi produzida uma imagem média característica da estação seca e outra na chuvosa. Dessa forma, obteve-se melhor visualização do contraste de tonalidades entre os períodos estacionais.

As imagens são compostas de sete bandas espectrais e resolução espacial de 30 m, com exceção da banda do termal (6), que possui uma resolução de 120 m. Os dados de entrada empregados para a estimativa do R_n estão representados na tabela 3.

Tabela 3: Datas das imagens, Temperatura do ar - T_a ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar - U_r (%), radiação solar incidente - R_s ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), Radiação de onda longa emitida pela superfície - $R_{ol,inst}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) e media diária da radiação solar incidente medida na torre FMI - R_{s24h} ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

Ano	Data Dia/Mês	Ta ($^{\circ}\text{C}$)	Ur (%)	$R_{s\ inst}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	$R_{ol\ inst}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	$R_s\ 24h$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
2009	10/jan	29,3	70,0	712,0	382,5	213,8
	31/mar	29,4	64,3	611,2	388,4	183,1
	18/mai	27,6	73,2	509,0	388,8	188,3
	03/jun	19,2	59,3	512,5	331,6	216,2
	21/jul	30,1	39,5	571,2	394,8	215,1
	06/ago	22,3	36,9	596,0	397,1	231,3
	22/ago	31,3	63,8	618,8	359,9	221,4
	07/set	29,9	52,5	667,2	404,6	247,7
	09/out	31,1	54,8	796,3	390,5	280,6
	10/nov	31,1	59,3	812,0	380,1	270,0

Para o processamento das imagens foram usados os dados de entrada de temperatura e umidade relativa do ar e radiação solar incidente (R_s) instantânea medida na FEX e radiação solar incidente integrada para 24 horas medida na FMI. E para fins comparativos foram selecionados três alvos na área de recorte, sendo (P1) área de Mata Ciliar as margens do Rio Cuiabá, (P2) Pastagem e (P3) área de Cerrado.

A passagem do satélite na área de estudo ocorreu por volta das 09h35 (hora local) dos dias estudados. Dessa forma, foi necessário realizar uma média dos dados medidos de $R_{n,inst}$ entre as 9:30 e 9:45 na FEX, e na FMI uma interpolação entre 9:30 as 10:00 horas. Esse procedimento foi necessário para sincronizar o tempo o

de medição com a passagem do satélite. E para o Rn_{24h} , a média foi obtida integrando os valores medidos na FMI em 24 horas no dia em que o Landsat 5 passou sobre a área de estudo.

O diagrama da figura 2 indica as etapas do processamento do algoritmo SEBAL para determinar os componentes do balanço de radiação, todas essas etapas são encontradas descritas nos trabalhos de GOMES et al. (2009), ALLEN et al. (2002) e SILVA et al. (2011).

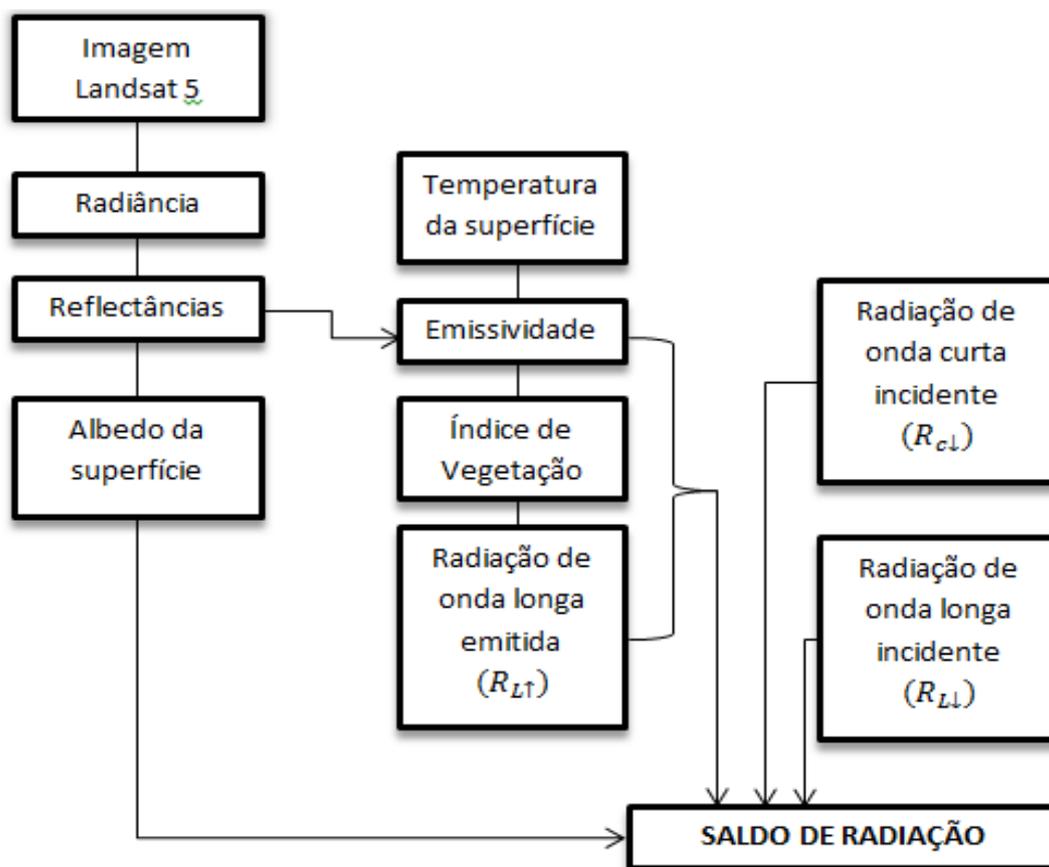


Figura 2: Diagrama das etapas do processamento do algoritmo SEBAL para a obtenção do Rn à superfície usando imagens do sensor Landsat 5.

O Processamento das imagens, desde a composição das bandas espectrais, ortoretificação, recorte da área de estudo, cálculo do Rn_{inst} e Rn_{24h} e dos índices de vegetação foram realizados no software ERDAS imagine 2011. As cartas foram geradas aplicando as etapas descritas abaixo.

3.3.1 Calibração Radiométrica

Essa é a primeira etapa do SEBAL, é o processo de transformação do número digital (ND) de cada pixel em radiância espectral ($L_{\lambda i}$). Essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat 5, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; e para a banda 6, a radiância representa a energia emitida por cada pixel, e a calibração é efetivada por meio da equação 5 (MARKHAM & BAKER, 1987):

$$L_{\lambda i} = L_{\lambda min} + \left(\frac{L_{\lambda max} - L_{\lambda min}}{255} \right) \cdot ND \quad (5)$$

$L_{\lambda min}$ e $L_{\lambda max}$ são as radiâncias espectrais mínimas e máximas em $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$, respectivamente (Tabela 4); ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde às bandas (1, 2,... e 7) do satélite Landsat 5 - TM.

Tabela 4: Constante de Calibração do Landsat-5 correspondentes aos intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiâncias mínima – $L_{\lambda min}$ e máxima – $L_{\lambda max}$).

Banda	Comprimento de Onda (μm)	$L_{\lambda, min}$ ($W m^{-2}$)	$L_{\lambda, max}$ ($W m^{-2}$)	k_{λ} ($W m^{-2}$)
1	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957,0
2	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826,0
3	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554,0
4	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1036,0
5	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	1
7	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

Os valores dos coeficientes de calibração radiométrica apresentados acima são os determinados por CHANDER & MARKHAM (2003), válidos para imagens dos anos mais recentes (maio de 2003 até 2011).

3.3.2 Refletância Monocromática

A refletância monocromática representa o cômputo da refletância em cada banda ($\rho_{\lambda i}$) definida como a razão entre o fluxo da radiação solar refletida e o fluxo da radiação solar incidente em cada pixel considerando as bandas expectarias de cada banda do TM- Landsat 5, sendo computada por meio da equação 6:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (6)$$

em que $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$, Tabela 5), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol em dado dia do ano (DSA), de acordo com IQBAL (1983), é dado pela equação 7:

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(DSA \cdot \frac{2\pi}{365}\right) \quad (7)$$

em que DSA representa o dia sequencial do ano e o argumento da função \cos está em radianos. O valor médio anual de d_r é igual a 1,00 e o mesmo varia entre 0,97 e 1,03 aproximadamente.

3.3.3 Albedo Planetário ou Albedo no Topo da Atmosfera

O cálculo do albedo no topo da atmosfera (α_{plan}) representa a quantidade de radiação refletida de cada pixel sem correção atmosférica, que consiste em combinação linear da refletância espectral em cada uma das seis bandas refletivas e seus respectivos pesos (w_b) computados pela equação 8:

$$\alpha_{plan} = w_{\lambda 1}\rho_{\lambda 1} + w_{\lambda 2}\rho_{\lambda 2} + w_{\lambda 3}\rho_{\lambda 3} + w_{\lambda 4}\rho_{\lambda 4} + w_{\lambda 5}\rho_{\lambda 5} + w_{\lambda 7}\rho_{\lambda 7} \quad (8)$$

em que $w_{\lambda i}$ dado pela razão entre $k_{\lambda i}$ de cada banda e $\rho_{\lambda i}$ somatório de todos os valores de $k_{\lambda i}$ conforme a equação 9:

$$w_{\lambda} = \frac{k_{\lambda}}{\sum k_{\lambda}} \quad (9)$$

3.3.4 Albedo da Superfície

No algoritmo SEBAL, o albedo da superfície é calculada considerando a transmitância - τ_{sw} e a refletância atmosférica - α em todo o domínio da radiação de onda curta, sendo necessário corrigir que segundo BASTIAANSEN et al. (1998), pode ser encontrado usando a Equação 10:

$$\alpha_{sup} = \left(\frac{\alpha_{plan} - \alpha}{\tau_w^2} \right) \quad (10)$$

em que: α é refletância atmosférica, que no presente estudo foi considerada 0,03 (BASTIAANSEN, 2000; SILVA et al., 2005; SILVA et al., 2011); τ_w é transmissividade atmosférica para condição de céu claro, obtida em função da altitude de cada pixel, obtida segundo a equação 11 de ALLEN et al. (2007).

$$\tau_w = 0,75 + 2 \times 10^{-5} z \quad (11)$$

3.3.5 Índices de vegetação

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) é obtido através da razão entre a diferença das refletividades da banda ρ_4 e da banda ρ_5 , pela soma das mesmas calculadas pela equação 12:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_5}{\rho_4 + \rho_5} \quad (12)$$

em que ρ_4 e ρ_5 correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 5 do sensor TM Landsat 5.

O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1 e para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 e 1, já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero (ESTEVEZ et al., 2013).

Os índices de vegetação são usados para avaliar os impactos decorrentes da ocupação humana nas áreas de estudo e na estimativa das emissividades. Obteve-se

o Índice de Vegetação Ajustado aos Efeitos do Solo (SAVI) proposta por HUETE (1988) usando a equação 13:

$$SAVI = \left(\frac{(1 + L)(\rho_4 - \rho_3)}{L + \rho_4 + \rho_3} \right) \quad (13)$$

em que L é a constante de ajuste ao solo cujo valor usado no estudo foi 0,1 (ALLEN et al., 2007 e SILVA et al., 2011).

Em seguida obteve-se o Índice de Área Foliar (IAF), definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, constituindo um indicador da biomassa de cada pixel, equação 14 proposta por ALLEN et al. (2007).

$$IAF = \frac{-\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (14)$$

De acordo com a expressão anterior o valor máximo atingido pelo IAF é igual a 6,0, ocorrendo quando o SAVI vale 0,69.

3.3.6 Emissividade

Para a obtenção da temperatura da superfície, é utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal (ϵ_{NB}) qual seja: 10,4 – 12,5 μm . Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga (ϵ_0) (5 – 100 μm). Segundo ALLEN et al. (2002), as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas, para $NDVI > 0$ e $IAF < 3$, segundo a equação 15 e 16:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \cdot IAF \quad (15)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \cdot IAF \quad (16)$$

Para pixels com $IAF \geq 3$, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$ e para corpos de água ($NDVI < 0$) $\varepsilon_{NB} = 0,99$ e $\varepsilon_0 = 0,985$, segundo recomendações de ALLEN et al. (2002).

3.3.7 Temperatura da Superfície

Para a obtenção da temperatura da superfície (T_s) são utilizada radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ε_{NB} obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) equação 17:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (17)$$

em que $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ são constantes de calibração da banda termal do fornecida pelo sensor TM Landsat 5 (ALLEN et al., 2002 e SILVA et al., 2005).

3.3.8- Radiação de onda longa emitida pela superfície

O computo da radiação de onda longa emitida pela superfície $R_{L\uparrow}$ (W.m^{-2}) é obtida por meio da lei de radiação de Stefan-Boltzman descrita na Equação 18:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (18)$$

em que ε_0 é a emissividade de cada pixel, σ é a constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) e T_s é a temperatura da superfície (K).

3.3.9 Radiação de onda curta incidente na superfície

A radiação de onda curta incidente $R_{s\downarrow}$ (W.m^{-2}) corresponde à radiação solar direta e difusa que atinge a superfície terrestre em condição de céu claro. Conforme a equação 19 usada por ALLEN et. al. (2002).

$$R_{s\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot T_{sw} \quad (19)$$

em que S é a constante solar ($1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), Z é ângulo zenital solar, d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica calculada mediante a função proposta por ASCE-EWRI, (2005) descrita na equação 20:

$$\tau_{sw} = 0,35 + 0,627 \exp \left[\frac{-0,00146P}{K_t \cos Z} - 0,075 \left(\frac{W}{\cos Z} \right)^{0,4} \right] \quad (20)$$

em que P é a pressão atmosférica (kPa); W a água precipitável na atmosfera (mm); Z o ângulo zenital do Sol; K_t é o coeficiente de turbidez ($0 < K_t < 1$) em que $K_t = 1$ para o ar limpo e $K_t = 0,5$ para turbidez extrema, poeira (ALLEN et al., 2007). A Pressão atmosférica – P (kPa) foi obtida pela equação 21:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (21)$$

em que 293 é a temperatura padrão do ar em (K), z é a altitude do local (m); W (mm) é obtida usando a pressão de vapor de água real – e_a (kPa) medida em uma estação meteorológica ou calculada por meio de dados meteorológicas, para o trabalho foram usado dados medidos na estação (GARRISON & ADLER, 1990).

3.3.1.0 Radiação de onda longa incidente pela atmosfera

A radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície $R_{L\downarrow}$ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), pode ser computada pela lei de Stefan-Boltzmann (Equação 22), em que ε_a é a emissividade atmosférica (Equação 23) proposta por ALLEN et. al., (2002), σ é a constante de Stefan-Boltzmann e T_a é a temperatura do ar (K).

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (22)$$

$$\varepsilon_a = 0,85 (\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (23)$$

3.3.1.1 Saldo de Radiação

O R_n foi computado utilizando-se o balanço de radiação à superfície conforme a equação 24:

$$R_n = R_{s\downarrow} (1 - \alpha_{sup}) - R_{L\uparrow} + R_{L\downarrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (24)$$

em que $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente, α_{sup} é o albedo corrigido de cada pixel, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e ε_0 é a emissividade de cada pixel.

Para escrever o modelo matemático da imagem do saldo de radiação médio em 24 horas proposta por BASTIAANSEN et al., (2005) descrita na equação 25:

$$R_n(24h) = (1 - \alpha_{sup})R_s(24h) - 110T_{24h} \quad (25)$$

em que α_{sup} é o albedo de superfície, $R_s(24h)$ é a média da radiação de onda curta incidente em 24 horas ($W.m^{-2}$) medida na torre micrometeorológica, sendo T_{24h} a transmitância, razão entre a radiação que chega no topo da atmosfera e o valor médio da radiação incidente em 24 hora medido na estação.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos no estudo foram analisados por meio dos seguintes parâmetros estatísticos: O Erro Médio Absoluto “EMA” (Equação 26), Erro Médio Percentual “EMP” (Equação 27), a Raiz do Erro Quadrático Médio “REQM” (Equação 28), o coeficiente linear de Person “r” (Equação 29) e o coeficiente de Willmott “d” (Equação 30).

O “EMA” e o “EMP” indica o afastamento médio absoluto dos valores estimados em relação aos valores medidos.

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x'_i - x_i| \quad (26)$$

$$EMP = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x'_i - x_i}{x_i} \right| \quad (27)$$

O REQM indica quanto o modelo falha em estimar a variabilidade das medidas em torno da média e mede a variação dos valores estimados ao redor dos valores medidos (WILLMOTT & MATSUURA, 2005). O menor limite de REQM é 0, o que significa que há plena adesão entre as estimativas do modelo e as medidas. O ideal seria que os valores do EMA e do REQM fossem próximo de zero (WILLMOTT & MATSUURA, 2005).

$$REQM = \left(\frac{\sum_i^N (x' - x)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

O coeficiente linear de Person “r” indica a intensidade da associação linear existente entre as variáveis (medidas e estimadas).

$$r = \frac{n \sum (x_i - x'_i) - (\sum x_i)(\sum x'_i)}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum x_i'^2 - (\sum x_i')^2}} \quad (29)$$

em que (x) corresponde ao valor observado, (x') ao valor estimado pelo SEBAL e (n) o número de amostra.

O coeficiente de Willmott “d” indica o afastamento dos valores estimados em relação aos medidos. Essa aproximação é dada por um índice de desempenho “c” designado de concordância (Equação 31) a que pode ser amplamente aplicado à comparação entre modelos (WILLMOTT et al., 1985).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (30)$$

em que P_i são os valores estimados pelo SEBAL, O_i são os valores observados nas estações micrometeorológica e O é a média dos valores observados.

O índice de confiança (c) reúne as indicações dos coeficientes “ r ” e “ d ” (Eq. 31) sendo o valor zero de c para confiança nula e 1 confiança perfeita (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

$$c = rd \quad (31)$$

O critério adotado para interpretar o desempenho dos valores estimado pelo SEBAL pelo índice c , está representado na tabela 5 (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

Tabela 5: Critérios de interpretação do desempenho dos valores estimados pelo SEBAL pelo índice (c).

Valor de (c)	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MICROCLIMA

Houve precipitação em todos os meses de 2009 (Figura 3). A precipitação anual foi de 1686,9 mm. Os menores valores de precipitação ocorreram entre abril a setembro, o que corresponde à estação seca. A ocorrência de precipitação na estação seca é comum na área de estudo (DINIZ et al., 2008).

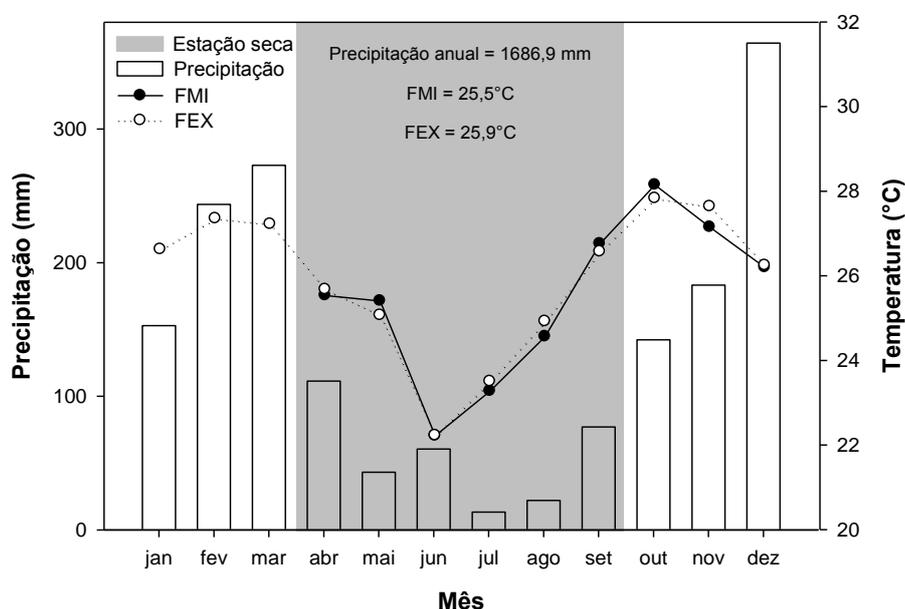


Figura 3: Precipitação e temperatura do ar em áreas de Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.

A temperatura média na FMI foi 25,5°C e na FEX 25,9° (Figura 3). Portanto, as temperaturas nas áreas de estudo apresentaram valores semelhantes. Os menores valores de temperaturas ocorreram na estação seca e os maiores na estação chuvosa. A umidade relativa do ar (UR) variou de 60% a 83% durante o ano (Figura 4). A menor UR ocorreu em agosto na estação FMI e em setembro na FEX. RODRIGUES (2011) encontrou médias diárias de temperatura do ar variando entre 12° a 32°C e média anual de 25°C, e média diárias de umidade relativa do ar entre 40% (estação seca) a 90% (estação chuvosa) e média anual de 69% na Fazenda

Miranda no ano de 2009. O padrão de temperatura (Figura 3) e umidade relativa do ar (Figura 4) é característico da região (RODRIGUES, 2011).

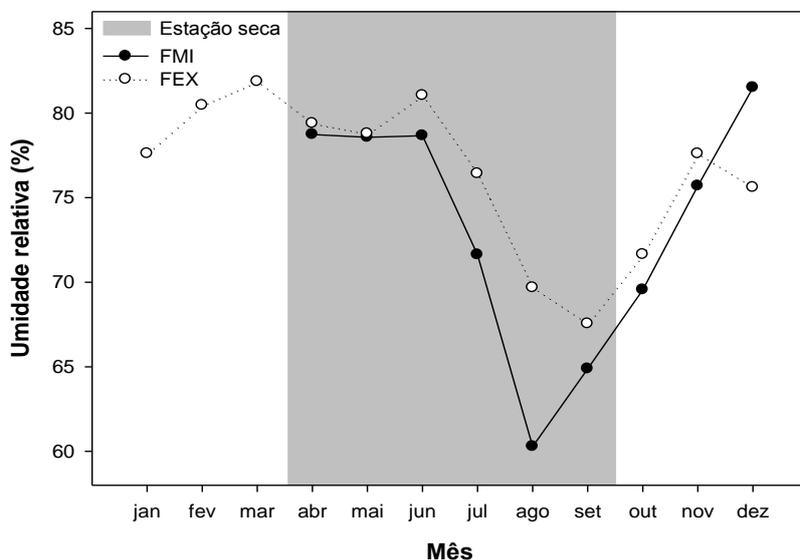


Figura 4: Umidade relativa do ar (UR) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.

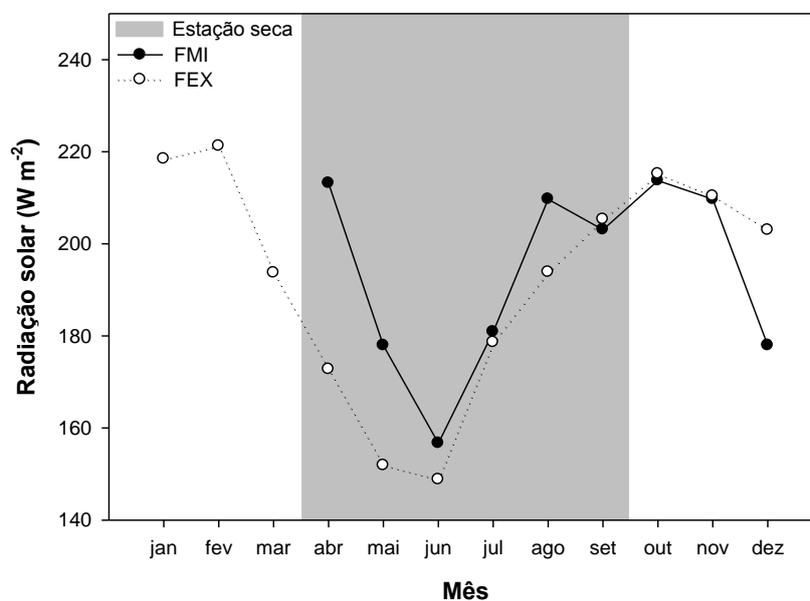


Figura 5: Radiação solar global (Rg) medido em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.

A radiação solar global (R_g) foi menor na estação seca, embora tenha diminuído no mês de dezembro (Figura 5) onde ocorreu maior pico de precipitação (Figura 3). CAMPELO JÚNIOR (1998) encontrou valores menores de R_g na estação seca e maiores na estação chuvosa, o que corrobora com o padrão encontrado neste estudo. A nebulosidade varia entre 90% e 99% na estação chuvosa em baixas latitudes (HILKER et al., 2012) o que afeta negativamente a quantidade de radiação solar que chega na superfície terrestre (LI et al., 2005). Por outro lado, aerossóis oriundos da queima de biomassa podem também reduzir a quantidade de radiação solar que chega a superfície (LI et al., 2005). Além disso, solstício de verão e inverno pode provocar mudanças no balanço de radiação (SANCHES et al., 2010; DA ROCHA et al., 2009), o que influencia nos valores de R_g . Destaca-se que R_g afeta processos de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera (PEREIRA et al., 2011), o que evidencia sua importância em estudos de interação biosfera-atmosfera.

4.2 ALBEDO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

Os maiores valores de albedo foram encontrados em áreas com pouca vegetação ou solo exposto (Figura 6), enquanto que nas áreas com corpos d'água como o Rio Cuiabá apresentaram albedo próximo de zero na estação seca (Figura 8a), como observado por BEZERRA et al. (2006). CORREIA et al. (2002) afirmaram que elevados valores de albedo estão associados à superfícies suaves, secas e de coloração clara, enquanto que menores valores de albedo estão associados à superfícies rugosas, úmidas e de coloração escura.

Ressalta-se que, a área de recorte onde foi realizado o estudo tem predominância de Pastagem, o que provavelmente afetou os valores médios do albedo na estação seca e chuvosa (Tabela 6).

Tabela 6: Estatística descritiva do albedo e temperatura da superfície na estação seca e chuvosa em uma região de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

Variável	Estação	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Albedo	Seca	0,06	0,56	0,19	0,03
	Chuvosa	0,03	0,67	0,20	0,03
Temperatura	Seca	152	306	299,8	7,91
	Chuvosa	245,8	296,4	292,1	1,84

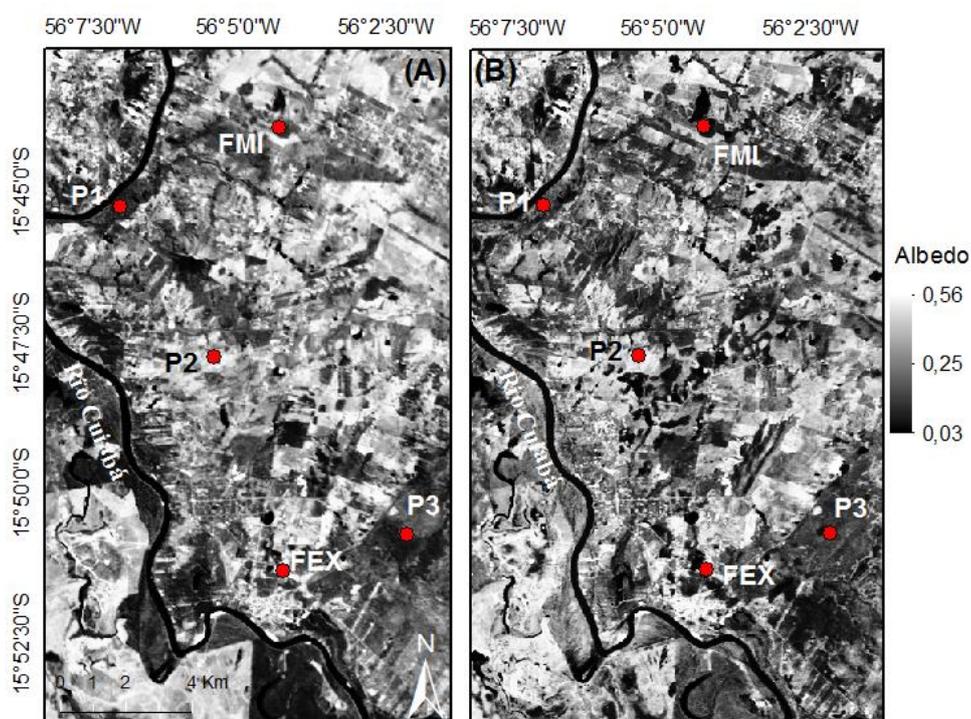


Figura 6: Variabilidade do albedo da superfície estimado pelo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

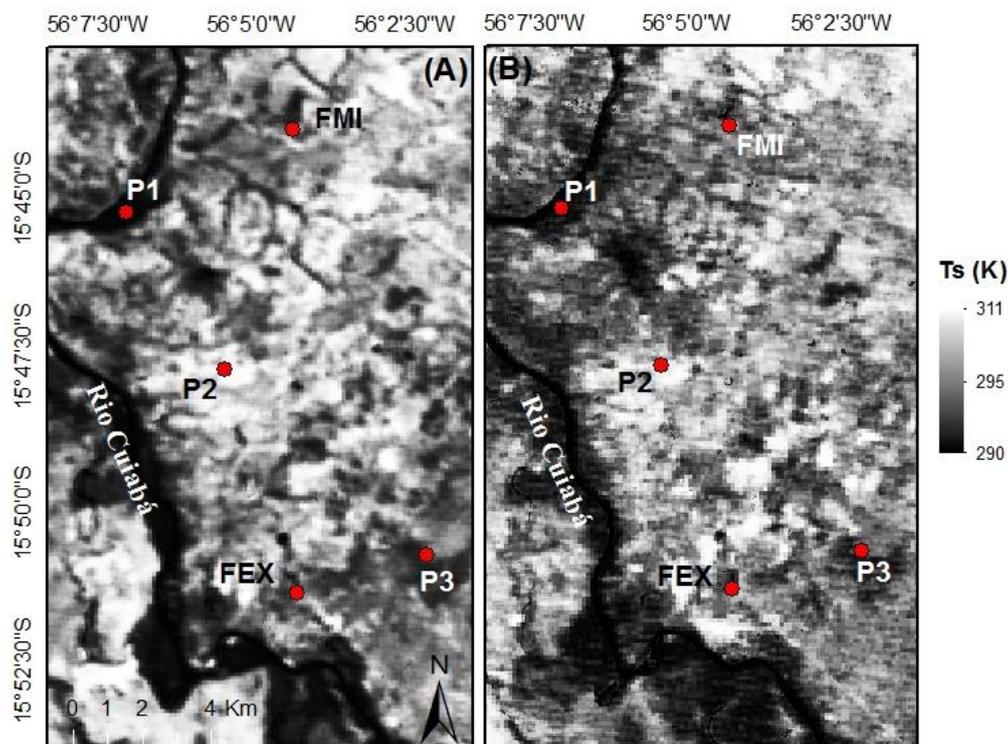


Figura 7: Variabilidade da temperatura de superfície estimada pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

Na pastagem, em média, o albedo variou de 22% a 24%; na Mata Ciliar de 14% a 18% e no Cerrado entre 14% a 20%. Estes valores de albedo estão próximos aos encontrados em outras regiões, tais como: no Cerrado paulista com 10-13,1% (GIONGO, 2008), em áreas nativas de Cerrado na Ilha do Bananal/TO com 10-14% (GUSMÃO, 2011), em Cerradão com 9-13% (GOMES, 2009), vegetação nativa de Cerrado com 11% (BEZERRA, 2009), em Cerrado com 12,6% (SANTOS, 2011). VAREJÃO-SILVA (2006) destacou que o albedo para vegetação tropical é de 13% em latitudes de -7° , enquanto que os valores encontrados na área de estudo foram superiores, pois a área de estudo está situada na latitude -15° . SILVA et al. (2011) encontraram menor albedo em culturas perenes de coqueiros e bananeiras em áreas irrigadas em Petrolina/PE, tal como encontrado em áreas com vegetação mais densa.

Os maiores valores de temperatura da superfície ocorreram na estação seca (Tabela 6). Nas áreas com pouca vegetação ou solo exposto foi encontrado os

maiores valores, enquanto que os menores ocorreram em corpos d'água (Rio Cuiabá e lagoas) e em áreas de Mata Ciliar (Figura 7). A maior amplitude nos valores de albedo da superfície ocorreu na estação chuvosa e de temperatura na estação seca (Tabela 6).

Na pastagem, em média, a temperatura variou de 286 a 306 K; na Mata Ciliar de 288 a 298 K e no Cerrado de 289 a 304 K. Estes valores de temperatura estão próximos aos encontrados em outras regiões, tais como: no lago de Sobradinho/PE com 293,9-296,9 K (SILVA et al., 2005b), na região de lagos em Santa Rita do Passa Quatro com 291,5-298,3 K (GIONGO, 2008), no açude em São Gonçalo/PB com 287,4 e 292,0 K (SILVA et al., 2011), e em região de Cerrado/SP entre 293-298,3 K (GOMES et al. 2009)

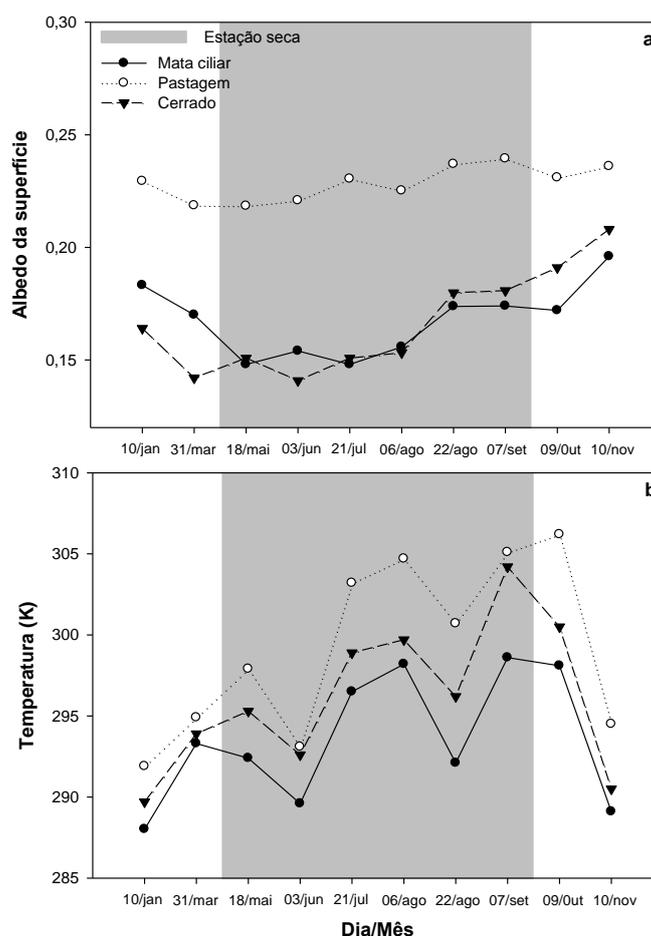


Figura 8: Albedo (a) e temperatura (b) da superfície estimada pelo SEBAL em áreas de Mata Ciliar, Pastagem e Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

4.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os maiores valores dos índices de vegetação ocorreram na estação chuvosa em áreas com maior biomassa sobre a superfície terrestre (Tabela 7). Esse parâmetro é um indicador sensível à quantidade e condição da vegetação verde sobre a superfície (ESTEVEZ et al. 2012).

Em média, o NDVI foi de 0,402 na estação seca e 0,527 na chuvosa, SAVI de 0,361 na estação seca e 0,450 na chuvosa e IAF de 0,610 na seca e 1,240 na chuvosa (Tabela 7).

Tabela 7: Estatística descritiva dos índices de vegetação na estação seca e chuvosa em uma região de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

Variável	Período	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
NDVI	Seco	-0,069	0,762	0,402	0,137
	Chuvoso	-0,616	0,786	0,527	0,161
SAVI	Seco	-0,587	0,729	0,361	0,119
	Chuvoso	-0,360	0,715	0,450	0,140
IAF	Seco	0	4,55	0,610	0,310
	Chuvoso	0	6	1,240	0,740

Os valores negativos de NDVI foram encontrados em áreas de corpos d'água; sobre a superfície do Rio Cuiabá, lagoas e represas. Resultados parecidos aos encontrados por SILVA et al., (2011) e SANTOS et al., (2008).

As áreas com tonalidades escuras apresentaram os menores valores, enquanto que as áreas com tonalidades claras, os maiores valores de NDVI (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007). ARAÚJO et al. (2011) observaram forte correlação do NDVI com a precipitação durante o início do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja no estado do Paraná (Figura 9).

O SAVI apresentou contraste de tonalidade semelhante ao NDVI na estação seca e chuvosa (Figura 10). Esse índice ajusta e corrige os valores de NDVI considerando as áreas onde coexistam vegetação e solo exposto (GIONGO, 2008). Por isso os valores de SAVI foram menores do que os de NDVI.

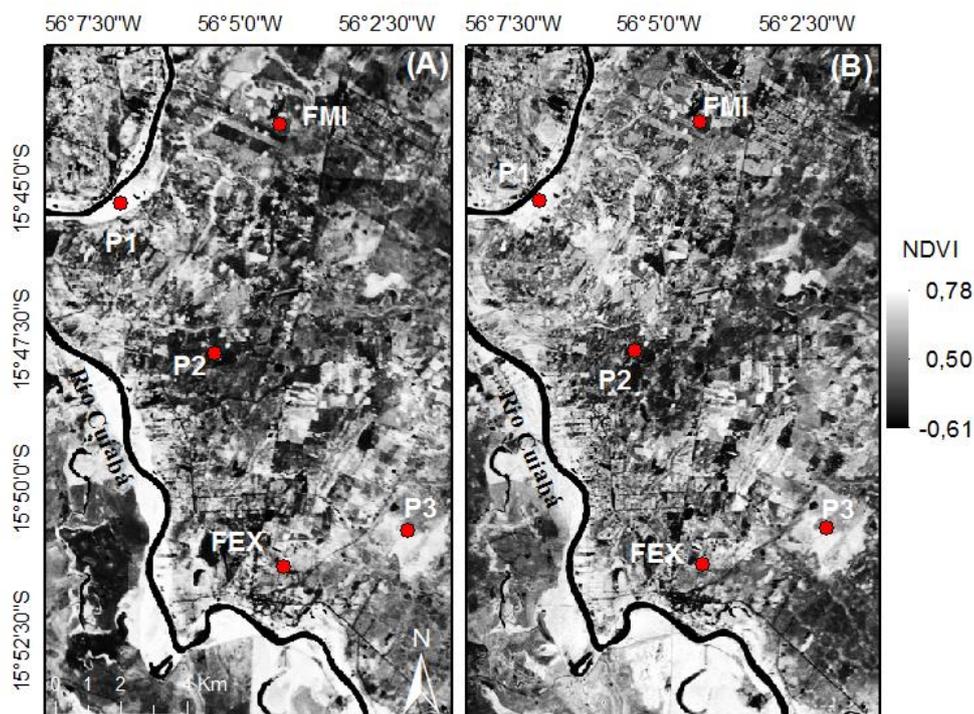


Figura 9: Variabilidade espacial do NDVI estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

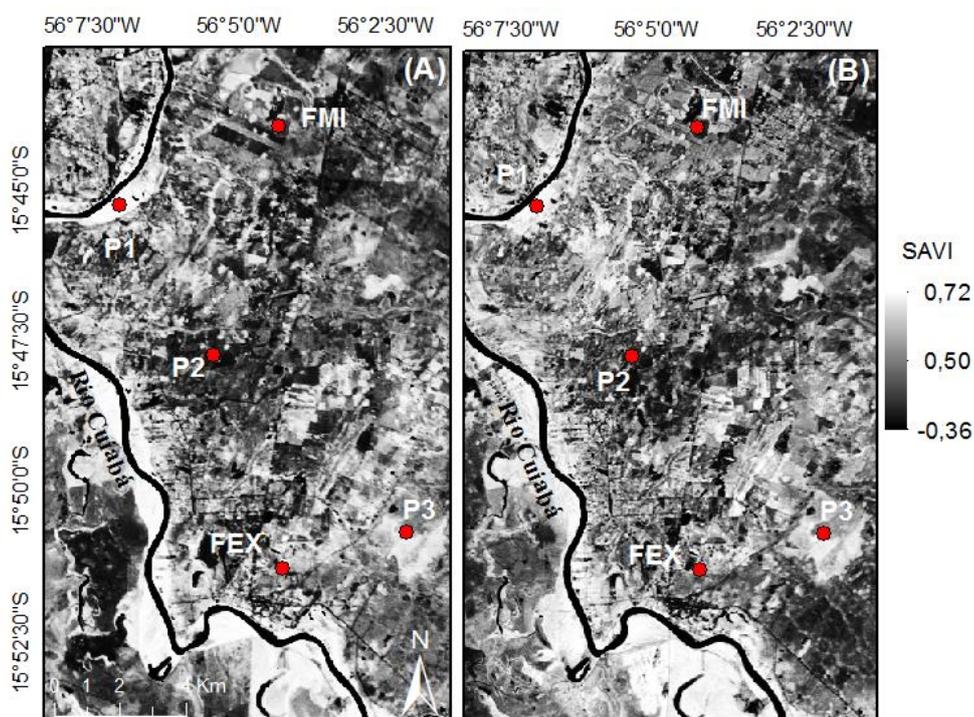


Figura 10: Variabilidade espacial do SAVI estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

Os maiores valores de IAF ocorreram na estação chuvosa (Tabela 7). O índice de área foliar (IAF) é outro índice indicativo de biomassa sobre a superfície, por isso é comum sua utilização em estudos ambientais indicando respostas do vigor da vegetação sobre o solo (ESTEVES et al., 2012).

Em áreas de corpos d'água o IAF foi zero (Figura 11) e o SAVI negativo (Figura 10). GIONGO (2008) encontrou comportamento semelhante em áreas de corpos d'água para o NDVI. GIONGO et al. (2007b) e GIONGO et al. (2007c) também obtiveram valores inferiores a zero para SAVI em superfícies de água.

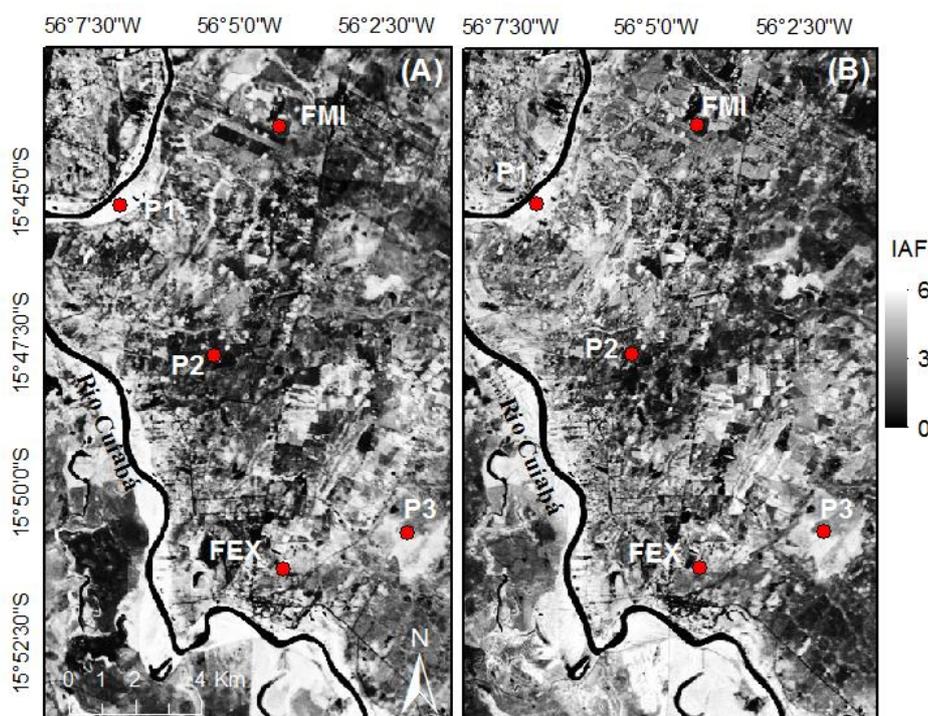


Figura 11: Variabilidade espacial do IAF estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

Na Mata Ciliar foram encontrados os maiores valores de NDVI variando entre 0,65 a 0,79 (Figura 12a). SHILPAKAR, (2003) em áreas de floresta na bacia do Rio Rapti, encontrou valores entre 0,55 e 0,70. As variações do NDVI na Mata Ciliar foram mínimas, e dessa forma comprova a importância da preservação dessas áreas.

Na área de Cerrado foram encontrados valores de NDVI variando entre 0,4 a 0,58 (Figura 12a). GUSMÃO (2011), em áreas de vegetação nativa de Cerrado, encontrou valores acima de 0,50 e GIONGO (2008) entre 0,538 e 0,725 em áreas

de Cerrado em Santa Rita do Passa Quatro/SP e em áreas de Cerradão/SP, GOMES et. al. (2009) registraram valores entre 0,71 e 0,60. Os resultados dos autores citados foram superior ao encontrado na área de Cerrado da Bacia do Alto rio Paraguai, exceto por GUSMÃO (2011). A diferença pode estar relacionada à arquitetura do dossel, espaçamento dos arbustos, espécies predominantes e também das condições meteorológicas (BARET & GUYOT, 1991; ESTEVES et al. 2012).

Na pastagem, o NDVI variou entre 0 a 0,3 (Figura 12a). Na parte central da figura 9 observa efeito decorrente da ação antrópica com valores de NDVI entre 0,1 a 0,2 (estação seca), que caracteriza solo exposto. No Semiárido nordestino, em áreas de solo exposto, RODRIGUES et al. (2009) encontraram valores de NDVI entre 0,20 a 0,39 em 2000 e de 0,03 a 0,20 em 2001. No entanto, NDVI acima de 0,3 são característicos de áreas com vegetação rala ou sem vegetação, podendo variar entre 0,05 a 0,30 (HUETE & TUCKER, 1991). Os resultados obtidos na área de Cerrado da Bacia do Alto rio Paraguai aproximam dos encontrados pelos autores acima citados, principalmente na pastagem com NDVI ($>0,3$) na estação chuvosa e ($<0,3$) estação na seca atingindo valor característico de solo exposto.

O SAVI na Pastagem apresentou maiores oscilações, indicando forte efeito do solo sobre o NDVI, e no Cerrado, os efeitos do solo foram maiores na estação seca (Figura 12b).

Na área de Mata Ciliar, o IAF variou entre 1,5 a 4 $m^2 m^2$, e no Cerrado entre 1,2 a 2,4 $m^2 m^2$ enquanto que na Pastagem variou entre 0,5 a 1,5 $m^2 m^2$. Em média, os maiores valores de IAF foram encontrados na estação chuvosa (1,24 $m^2 m^2$) e de os menores valores na estação seca (0,61 $m^2 m^2$) (Tabela 6). No entanto, as áreas de pastagens predominam na área de estudo influenciando na média apresentada.

A Mata Ciliar apresentou os maiores valores dos índices de vegetação e a Pastagem os menores. O NDVI da Mata Ciliar praticamente não se alterou entre as estações seca e chuvosa (Figura 12a), porém o SAVI e o IAF apresentaram oscilação. Observa aumento nos valores dos índices na estação chuvosa (Figura 12).

A avaliação da cobertura do solo por meio dos índices de vegetação são importantes para o cálculo do Rn. Na região do Cariri Cearense, BEZERRA et al. (2006) encontraram valores mais elevados de Rn em áreas com baixo albedo cujas

áreas eram caracterizadas por corpos d'água e vegetação, evidenciando a influência da cobertura do solo no balanço de radiação à superfície.

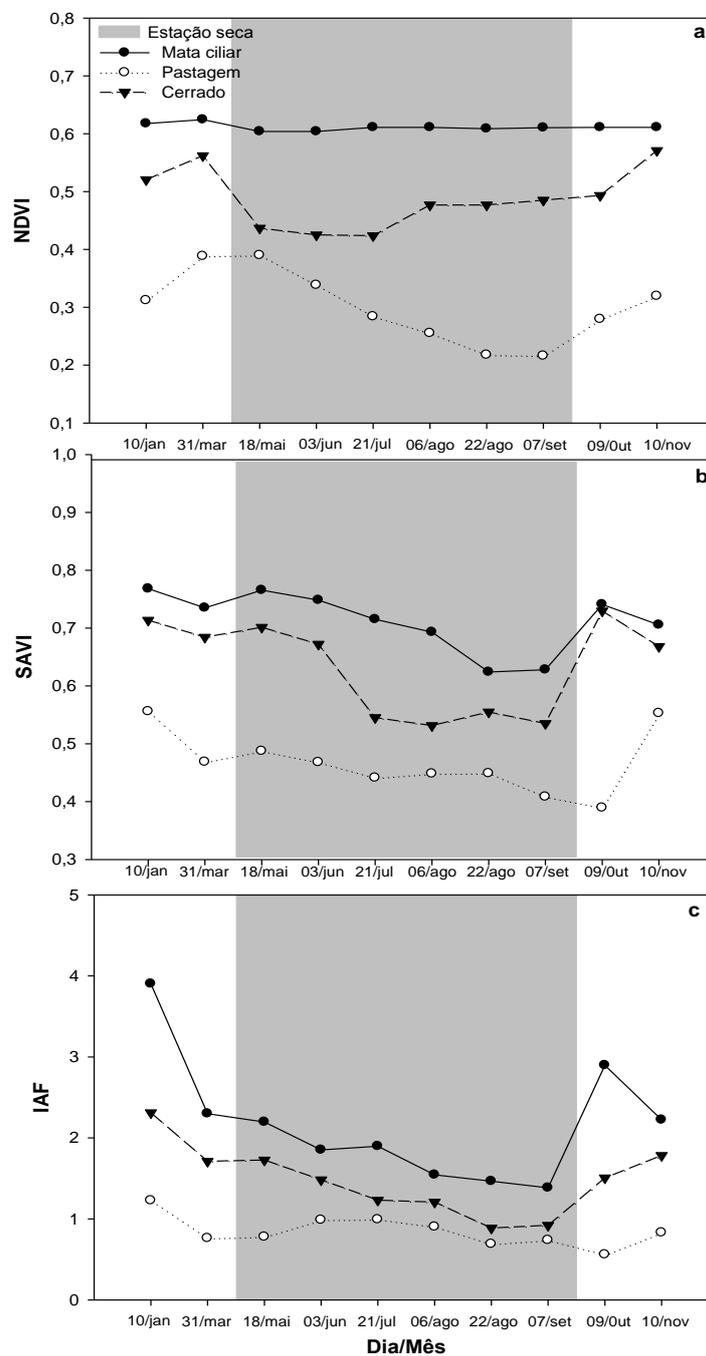


Figura 12: Os índices de vegetação NDVI (a), SAVI (b) e IAF (c) estimados pelo algoritmo SEBAL em áreas de Mata Ciliar, Pastagem e Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

4.4 SALDO DE RADIAÇÃO - R_n

Os valores do saldo de radiação (R_n) medido na FMI e FEX foram semelhantes (Figura 13). O R_n foi maior na estação chuvosa e menor na seca, seguindo o mesmo padrão de R_g. A variação de R_n está relacionado ao padrão sazonal da radiação solar e também as mudanças na cobertura do solo entre as estações seca e chuvosa (SILVA et al., 2011; GOMES et al., 2009).

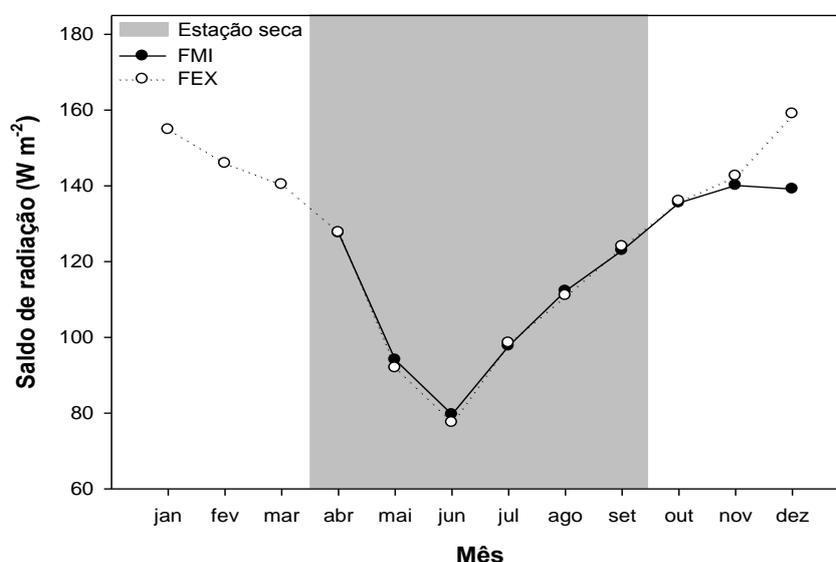


Figura 13: Saldo de radiação (R_n) medido em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.

Os menores valores do saldo de radiação R_{n_{inst}} e o R_{n_{24h}} ocorreram na estação seca, tanto na FMI quanto na FEX (Figura 13). Os valores de R_{n_{inst}} estimado pelo SEBAL foram semelhantes aos medidos. Em geral, o R_{n_{24h}} estimado pelo SEBAL foram menores aos medidos nas torres micrometeorológicas (Figura 14b), com exceção na estimativa do dia 3 de junho em que o SEBAL subestimou o R_{n_{24h}} na FEX. O R_{n_{inst}} variou entre 350 a 650 W m⁻² e o R_{n_{24h}} variou de 80 a 200 W m⁻² (Figura 14).

As estimativas realizadas pelo algoritmo SEBAL apresentaram boa correlação com os dados medidos nas torres micrometeorológicas (Tabela 8) validando o estudo para a área de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai. Obteve-se correlação linear de Person (r) de 0,996 na FEX e 0,998 na FMI para R_{n_{inst}}, e r de

0,989 na FEX e 0,998 na FMI para o Rn_{24h} . O coeficiente de Willmott “d” comprovou a eficiência das estimativas apresentando índice de desempenho (c) considerado ótimo (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

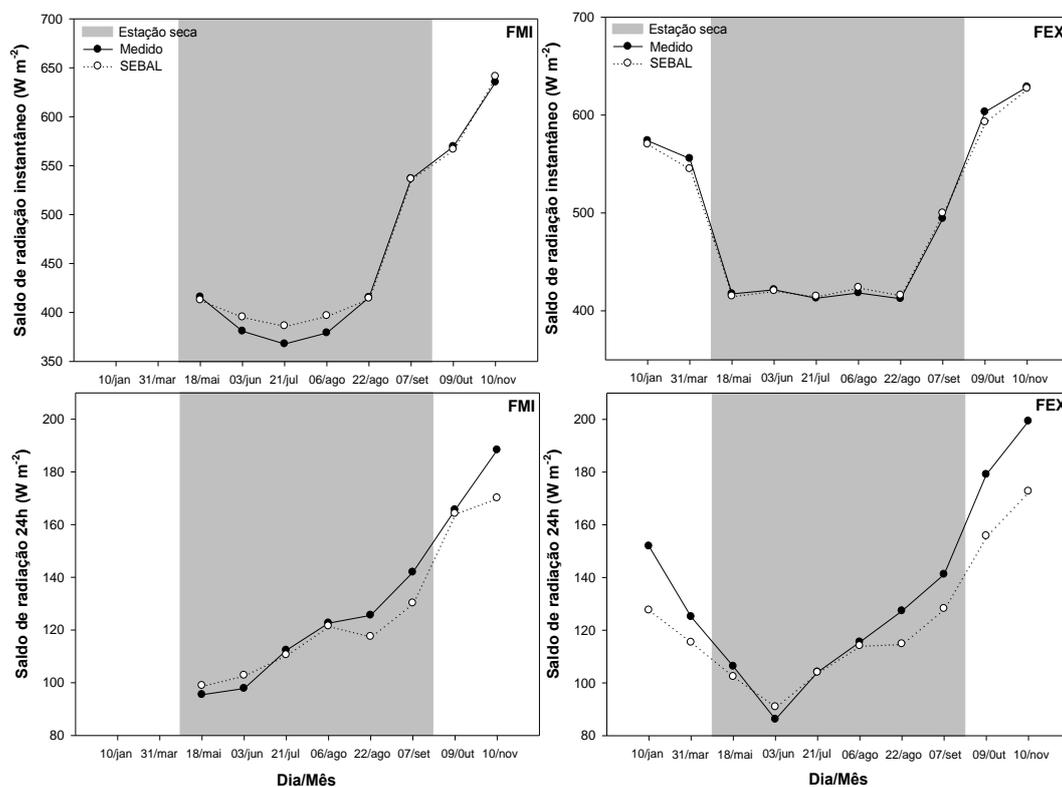


Figura 14: Saldo de radiação instantâneo ($W.m^{-2}$) e 24h ($W.m^{-2}$) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.

Para o Rn_{inst} foram encontrados Erro Absoluto Médio (EMA) de $7,92 W.m^{-2}$ na FMI e $4,55 W.m^{-2}$ na FEX; Erro Médio Percentual (EMP) de 1,98% na FMI e 0,89% na FEX e Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) de $10,69 W.m^{-2}$ na FMI e $5,57 W.m^{-2}$ na FEX (Tabela 8). Os parâmetros estatísticos adotados na pesquisa estão próximos dos valores encontrados em outras regiões (SILVA et al., 2011; ALLEN et al., 2008; GIONGO, 2008; GUSMÃO, 2011).

SILVA et al., (2011) obtiveram erros de 0,7% em área de Cerrado e 1,3% em plantação de Cana-de-açúcar em São Paulo. GIONGO (2008) encontrou correlação de 0,984 em área de Cana-de-açúcar e 0,994 em área de Cerrado em Santa Rita do Passa Quatro/SP, usando dados medidos em estações meteorológicas

e o SEBAL para avaliar o balanço de radiação à superfície. E ainda, GUSMÃO (2011) encontrou REQM de $17,79 \text{ W.m}^{-2}$ usando imagens Landsat 5 na estação seca em áreas de Cerrado nativos na ilha do Bananal/TO.

BISHT et al. (2005) obtiveram REQM igual a 74 W.m^{-2} e BISHT & BRAS (2010) de 37 W.m^{-2} para o $R_{n \text{ inst}}$ utilizando o sensor MODIS, enquanto RYU et al. (2008) valores entre 46 a 65 W.m^{-2} e WANG & LIANG (2009) valores de 17,72 e $16,88 \text{ W.m}^{-2}$. Os resultados apresentados pelos autores foram superiores aos encontrados na FMI e FEX (Tabela 8), as diferença foram menores entre os dados medidos e estimado pelo SEBAL, confirmando a eficiência do modelo para a estimativa do R_n usando imagens Landsat 5.

Tabela 8: Coeficiente de correlação (r), coeficiente de Willmontt (d), Índice de confiança (c), Erro Médio Absoluto (EMA), Erro Médio Percentual (EMP) e Raiz do Erro Médio quadrático para $R_{n \text{ inst}}$ e R_{n24h} em áreas de Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai. FMI = Fazenda Miranda; FEX = Fazenda Experimental.

Local	Variáveis	r	c	d	EMA	EMP	REQM
FMI	$R_{n \text{ inst}}$	0,996	0,992	0,996	7,92	1,98	10,69
	R_{n24h}	0,998	0,974	0,976	6,33	4,54	8,48
FEX	$R_{n \text{ inst}}$	0,998	0,996	0,998	4,55	0,89	5,57
	R_{n24h}	0,989	0,921	0,932	11,95	7,95	15,16

Para o R_{n24h} foram encontrados Erro Absoluto Médio (EMA) de $6,33 \text{ W.m}^{-2}$ na FMI e $11,95 \text{ W.m}^{-2}$ na FEX; e Erro Médio Percentual (EMP) de 4,57 % na FMI e 7,95 % na FEX e a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) de $8,48 \text{ W.m}^{-2}$ na FMI e $15,16 \text{ W.m}^{-2}$ na FEX (Tabela 8). GUSMÃO, (2011) encontrou erro médio absoluto (EMA) de 1,95% e $2,78 \text{ W.m}^{-2}$ e REQM de $3,36 \text{ W.m}^{-2}$ em uma área de Cerrado nativo na ilha do bananal/TO e BISHT et al. (2005) obtiveram REQM de 50 W.m^{-2} e BISHT & BRAS (2010) valor de 38 W.m^{-2} usando dados do sensor MODIS. O REQM encontrado na área de Cerrado na Bacia do Alto Rio

Paraguai foram menores em relação aos obtidos por BISHT & BRAS (2010) e BISHT et al. (2005), e maior em relação ao trabalho de GUSMÃO (2011).

Com a adequada estimativa de Rn_{inst} e Rn_{24h} pelo algoritmo SEBAL foi possível elaborar mapas temáticos dos parâmetros biofísicos para avaliar as mudanças espaciais e sazonais na área de estudo. As áreas em tom cinza escuro apresentam os menores valores de R_n , enquanto que as áreas mais claras apresentam os maiores valores.

Em geral, Rn_{inst} apresentaram os maiores valores na estação chuvosa, em áreas com vegetação densa e sobre a superfície do Rio Cuiabá, e nas áreas com vegetação esparsa e solo exposto (áreas em tonalidade escura) foram registrados os menores valores (Figura 15 e 16). Os maiores valores de Rn_{24h} ocorreram na estação chuvosa, as diferenças sazonais de Rn_{24h} são observadas nas áreas de Pastagens onde são perceptíveis as mudanças entre as estações seca e chuvosa (Figura 16). As áreas de Mata Ciliar e Cerrado apresentaram os maiores valores de Rn_{inst} e Rn_{24h} do que a Pastagem (Figura 15 e 16).

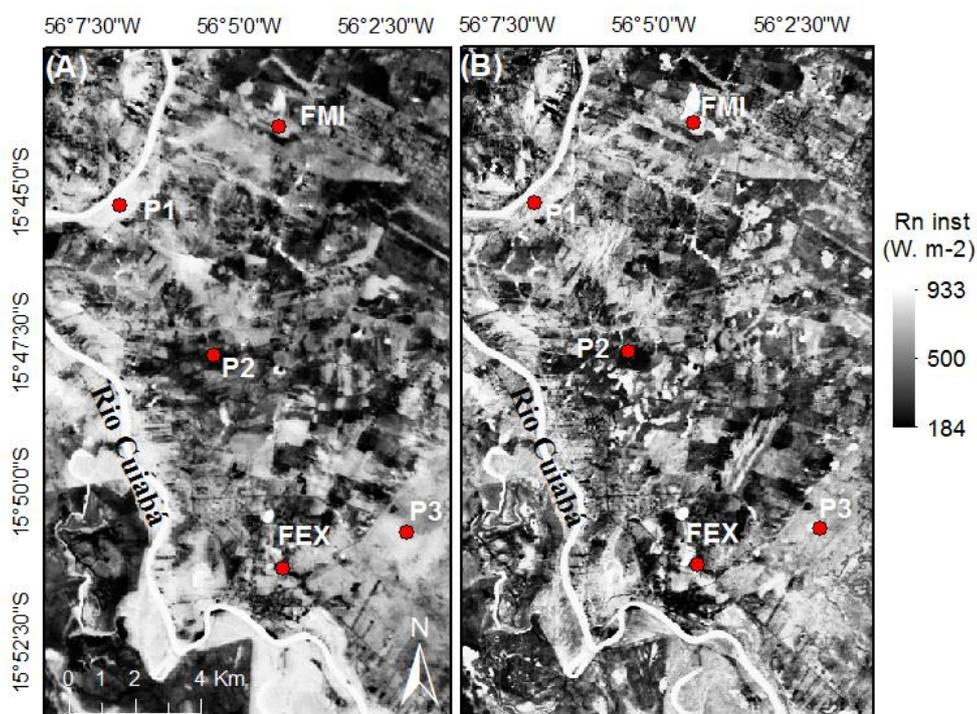


Figura 15: Variabilidade espacial de Rn_{inst} estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

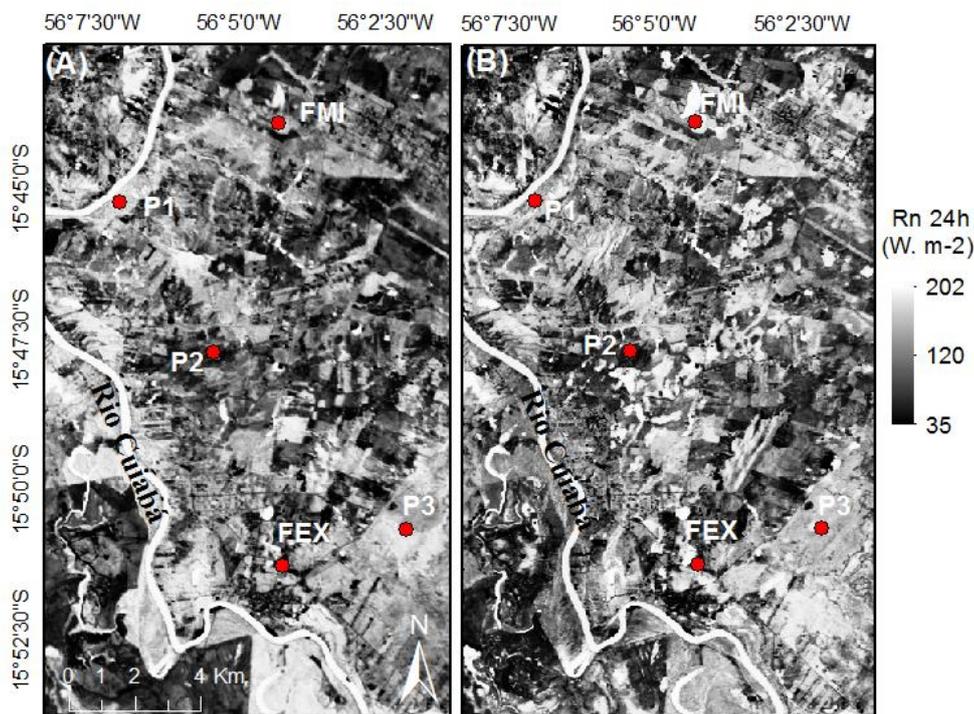


Figura 16: Variabilidade espacial de Rn_{24h} estimado pelo algoritmo SEBAL na estação seca (A) e chuvosa (B) em áreas de Cerrado na bacia do alto Rio Paraguai.

Com a possibilidade de especializar o saldo de radiação instantâneo e 24h em função do desempenho adequado de suas estimativas pelo algoritmo SEBAL foi possível avaliar os valores de Rn_{inst} e Rn_{24h} para áreas de Mata Ciliar, Pastagem e Cerrado. O padrão sazonal de Rn_{inst} e Rn_{24h} foi o mesmo encontrado para FMI e FEX indicado na figura 6. A pastagem apresentou o menor valor de Rn_{inst} e Rn_{24h} quando comparado com áreas de Mata Ciliar e Cerrado.

Na Mata Ciliar o Rn_{inst} variou entre 428,4 a 644,4 $W.m^{-2}$; no Cerrado variou entre 430,7 a 628,3 $W.m^{-2}$ e na Pastagem de 372,5 a 581,6 $W.m^{-2}$ (Figura 17a). Os referidos valores estão próximos dos valores encontrados em outras regiões, tais como: Pastagens em Ji-paraná/RO entre 386 a 507 $W.m^{-2}$ usando o SEBAL e imagens Landsat 5 (LIBERATO et al., 2011), em uma área de Cerrado em Santa Rita do Passo Quatro/SP entre 375,1 a 711,8 $W.m^{-2}$ no dia 22/02/2005 e de 207,9 a 448,1 $W.m^{-2}$ em 16/07/2005 (GOMES et al., 2009), e na Bacia do Rio Hei-he na China na ordem de 650 $W.m^{-2}$ em oásis e de 400 $W.m^{-2}$ em áreas desérticas (BASTIANSSEN et al., 1998).

Na Mata Ciliar o Rn_{24h} variou entre 98,1 a 167 $W.m^{-2}$; no Cerrado variou entre 101,5 a 162,1 $W.m^{-2}$ e na Pastagem entre 87,6 a 152 $W.m^{-2}$ (Figura 17b). BIUDES, (2008) encontrou média mensal de Rn na FEX no ano de 2007 de 164,5 $W.m^{-2}$ no mês de março e 84,5 $W.m^{-2}$ em junho. Os valores estimados pelo SEBAL aproximam da média mensal obtida por BIUDES (2008) no mês de junho de 97,3 $W.m^{-2}$ (Figura 17b).

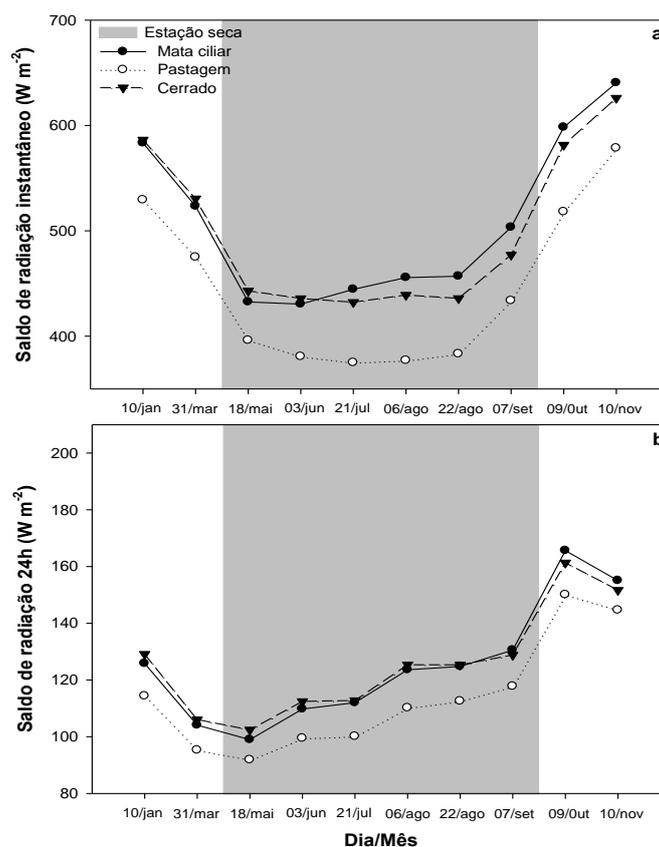


Figura 17: R_n instantâneo (a) e 24h (b) estimado pelo algoritmo SEBAL em áreas de Mata Ciliar, Pastagem e Cerrado na Bacia do Alto Rio Paraguai.

Dessa forma, a vantagem em utilizar imagens orbitais e o SEBAL para a estimativa do Rn em escala espacial e temporal é útil, embora as poucas imagens da superfície disponíveis pelo sensor TM Landsat sejam uma limitação, porque a utilização das imagens depende da ausência de nuvens sobre a área de interesse. Por isso, muitos trabalhos utilizam apenas imagens da estação seca, uma vez que este período apresenta maior disponibilidade de imagens e pouca influência de nebulosidade.

5. CONCLUSÕES

- O algoritmo SEBAL apresentou estimativas ótimas de acordo com os parâmetros estatísticos adotados no estudo.
- Os valores estimados pelo SEBAL foram semelhantes aos medidos nas torres micrometeorológica da fazenda Miranda (FMI) e Experimental (FEX).
- A espacialização do saldo de radiação indicou valores de R_n variando para diferentes tipos de cobertura vegetal. O $R_{n_{inst}}$ e $R_{n_{24h}}$ foram maiores em áreas de Mata Ciliar e Cerrado em relação à Pastagem.
- Houve variabilidade no R_n devido a sazonalidade da radiação solar, com diminuição na estação seca e aumento na estação chuvosa.
- O albedo da superfície foi maior na Pastagem e menor na Mata Ciliar e Cerrado. Na análise espacial usando as imagens orbitais, a predominância de pastagens na área de estudo, influenciou nas médias entre a estação seca e chuvosa.
- Os índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) indicaram mudanças na cobertura do solo entre a estação seca e chuvosa.
- Nas áreas de Pastagens foi encontrado NDVI menor de 0,3 na estação seca, aproximando de índice característico de solo exposto.
- O SAVI teve variação semelhante ao NDVI nas áreas de Cerrado e Pastagens e diferente em áreas de Mata Ciliar. Porém, foi possível identificar diferenças no IAF nas áreas de selecionadas para o estudo.
- A temperatura da superfície foi maior nas áreas antropizadas (Pastagem) e menor em áreas com presença de vegetação natural (Mata Ciliar e Cerrado). Na estação chuvosa, o aumento da biomassa as margens e em toda a extensão do Rio Cuiabá revelou valores de temperatura menores em relação à Pastagem.
- O estudo revelou a aplicabilidade do Algoritmo SEBAL no Cerrado da bacia do Alto Rio Paraguai, portanto uma técnica que pode ser usada nos estudos microclimáticos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. O domínio dos cerrados: Introdução ao conhecimento. **Fundação Centro de Formação do Servidor Público**, v.3, n.4, p.41-55, 1983.

ADÂMOLI, J. MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. In: **Goedert, W.J., Ed. Solos dos cerrados: Tecnologias e Estratégias de Manejo**. São Paulo: Nobel/Planaltina: EMBRAPA-CPAC p.33-98, 1987.

ADÂMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os Cerrados: discussão sobre o conceito de "Complexo do Pantanal". In: **Anais do 32º Congresso Nacional de Botânica**, p.109-119, 1981.

ALLEN, A. C.; VALLS, J. F. M. Recursos Forrageiros Nativos do Pantanal Mato-Grossense. Brasília, **EMBRAPA-CENARGEN** 339p. 1987.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, vol.133, n.4, p.380-394. July/Aug. 2007.

ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), **Idaho Implementation – Advanced training and user's manual**, version 1.0, 2002.

ARAÚJO, G. K. D. ROCHA, G.K. D.; LAMPARELLI, R.A.C. Relação entre NDVI da cultura da soja e dados de precipitação de estações meteorológicas e do modelo CMWF, no estado do Paraná. In **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, p.0254, Anais 2011.

ASCE EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. ASCE EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Rep. 2005.

AYENEW, T. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands. **Journal of Hidrology**. Amsterdam. 279, p. 83-93, 2003.

BASTIAANSSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. **Wageningen Agricultural University**, 1995.

BASTIAANSSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hidrology**. Amsterdam, v.229, p. 87-100, 2000.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. The surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 1 formulation, **Journal of Hydrology**, v.212-213, p.198-212, 1998.

BEARD, J.S., The Savanna vegetation of northern tropical America. **Ecological Monographs**, v.23, p.149-215, 1953.

BEZERRA, B. G. Balanço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense através do algoritmo SEBAL. 2006. 127f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.

BEZERRA, M. V. C. Balanço de Energia em Áreas Irrigada Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto. 2004. 108f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

BISHT, G. e BRAS, R. L. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.1522-1534, 2010.

BISHT, G.; VENTURINI, V.; ISLAM, S.; JIANG, L. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging spectroradiometer) data for clear sky days. **Remote Sensing of Environment**, v.97, n.1, p.52–67, 2005.

BIUDES, M.S. Balanço de Energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do pantanal. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em agricultura tropical) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

CAMPELO JÚNIOR, J.H. Relações sazonais entre a Radiação Solar Global e Insolação no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6. n. 2 p. 193-199, 1998.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C.; Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMARGO, A.P; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CHANDER; G.; MARKHAM; B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges, **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**. v.41, n.11, p.2674-2677, Nov. 2003.

COLE, M. M., A Savana Brasileira. **Boletim Carioca de Geografia**, v.11, p.05-52, 1958.

CORREIA, F. W. S.; ALVALÁ, R. C. S.; GIELOW, R. Albedo do Pantanal Sul Mato-grossense durante o período de transição seco-úmido de 2001-2002, In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 12, Foz do Iguaçu, Anais. Foz do Iguaçu, 2002.

DA ROCHA H.R.; GOULDEN M.L; MILLER S.D; MENTON M.C; PINTO L.D.V.O; FREITAS H.C; FIGUERA A.M.S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. **Ecol Appl** 14:22-32. doi:10.1890/02-6001, 2004.

DI PACE, F. T.; SILVA, B. B. da; SILVA, V. P. R.; SILVA, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.385-392, 2008.

DINIZ, G. L.; FONSECA, M.; CAMPELO JUNIOR, J. H.; Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada Cuiabana. **Biomatemática**, v. 18, p. 37 - 48, 2008.

EITEN, G. An outline of the vegetation of South America. In: **Symposia of the congress of the International Primatological Society**,5, Nagoya, Japan. Proceedings. Tokio: Japan Science Press, p.529-545, 1974.

EITEN, G., The Cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, v.38, n.2, p.201-341, 1972.

ESTEVES, B.S.; SOUSA, E.F; LOUSADA, L.L.; MENDONÇA, J. C; MUNIZ, R.A.; SILVA, R.M. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.7, n.4, p.663-670, 2012.

FLORENZANO, T. G; Iniciação ao Sensoriamento Remoto. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FOKEN, T.; Micrometeorology Berlin: Springer, 2008. 148 p.

FONSECA, M. Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana. 2008. 78p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

GAIDA, W.; FILHO PEREIRA, W.; WACHHOOLZ, F.; KONROD, C. G.; Dinâmica da vegetação e uso da terra com uso do NDVI na bacia hidrográfica do Alto Jacuí. **Revista Geo**. UERJ – nº. 24. v. 2, 2012 p. 684-698.

GARRISON, J. D.; ADLER, G. P. Estimation of precipitable water over the United State for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components. **Solar Energy**. Kidlington, v.44, n.4, p.225-241, 1990.

GIONGO, P. R.; Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfícies. 2008. 92 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

GIONGO, P. R. et al. Estimativa do albedo e do Índice de Área Foliar (IAF) em área de Sertão no Sub-Médio São Francisco – PE. In: **Congresso Nordestino de Engenharia Florestal**, 1., 2007, Recife, Anais Recife: ED UFRPE, 2007b, 1 CD ROM.

GIONGO, P. R. et al. Índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF estimados com Imagens Landsat 5 – TM. In: **Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 7., 2007, Recife, Anais... Recife: ED UFRPE, 2007c, 1 Cd ROM.

GOMES, H. B; SILVA, B.B da; CAVALCANTI, E.P; DA ROCHA, H.R. Balanço de radiação em diferentes biomas de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, Rio Claro, v. 28, n. 2, p. 153-164, 2009.

GOMES, H. F. Balanços de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e Cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais, 119p. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2009.

GUSMÃO, A.C.V.L; Obtenção do saldo de radiação através de imagens de satélite para a ilha do bananal - TO. 2011. Dissertação (mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande/PB, Campina Grande, 2011.

HERINGER, E.P.; BARROSO, G.M.; RIZZO, J.A.; RIZZINI, C.T. A flora do Cerrado. In: **4 Simpósio sobre o Cerrado**. Brasília, DF. Bases para utilização agropecuária. Anais. São Paulo: EDUSP/Belo Horizonte: Itatiaia, p.211-232, 1977.

HILKER T, LYAPUSTIN A.I, TUCKER C.J, SELLERS P.J, HALL F.G, WANG Y. Remote sensing of tropical ecosystems: Atmospheric correction and cloud masking matter. **Remote Sensing of Environment** 127: 370–384. doi: 10.1016/j.rse.2012.08.035

HUETE, A. R.; TUCKER, C. J. Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.12, p.1223-1242. 1991.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v.25, p.295-309, 1988.

IPPOLITI-RAMIRO, G. A. Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão. São José dos Campos (SP), (INPE-7116-TDI/668). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 183p., 1999.

IQBAL, M. An Introduction to Solar Radiation. New York: **Academic Press**. 1983. 212p.

JIMENEZ, J. I; ALADOS-ARBOLEDAS, L; CASTRO-DIÉZ, Y; BALLESTER, G. On the estimation of long wave radiation flux from clear skies. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v.38, n.1, p.37-42, 1987.

JIN, Y; RANDERSON, J. T; GOULDEN, M. L. Continental-scale net radiation and evapotranspiration estimated using MODIS satellite observations. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.2302-2319, 2011.

LEITÃO, M. M. V. B. R. Balanço de radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica: Campina, Campinarana e Mata Densa. 1994, 135f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

LIBERATO, A. M.; SILVA, B. B da; CARDOSO, F. L.; Uso de técnicas de sensoriamento remoto na estimativa do saldo de radiação em Rondônia, **Revista Pesquisa & criação**, Volume 10, n° 2 p. 153-164, 2011.

LI Z; BARKER H; MOREAU L. The variable effect of clouds on atmospheric absorption of solar radiation. **Nature** 376: 486-490, 1995.

LIU, W. T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande: Ed. **UNIDERP**, 2006. 881 p.

LOPES, A.S. Solos sob Cerrado: características, propriedades, manejo. 2 Ed. Piracicaba: **Associação Brasileira de Potássio e Fósforo**, 162p, 1984.

LOPES, G. M. Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat 5 TM. 2003, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

MARKHAM, B.L; BARKER, J.L. Thematic Mapper Bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

MENDONÇA, J. C. Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense. 2007, 145f.Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MENESES, P.R; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de imagens de sensoriamento Remoto. Brasília, 2012.

MOHAMED, Y. A.; BASTIAANSEN, W. G. M.; SAVENNIJE, H. H. G.; Spatial variability of evaporation and moisture storage in the swamps of the upper Nile studied by remote sensing techniques. **Journal of Hidrology**, Amsterdam, v.289, p.145-164, 2004.

MONTEITH, J. L. Principles of environmental physics. London: Edward Arnold, 1973. 291p.

OLIVEIRA FILHO, A.T; RATTER, J.A. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany**, v.52, n.2, p.141-194, 1995.

PAIVA C. M. Estimativa do balanço de energia e temperatura de superfície via satélite NOAA/AVHRR. 2005, 218f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PEREIRA, B.A.S.; VENTUROLI, F.; CARVALHO, F. A.; Florestas Estacionais no Cerrado: uma visão geral. **Pesquisa Agropecuária Tropical.**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 446-455, jul./set. 2011.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, YOSIO, E.; Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

PRADO, D.E.; GIBBS, P.E. Patterns of species distribution in the dry seasonal forests of South America. Ann. **Missouri Bot. Gard**, v.80, p.902-927, 1993.

REICHART, K; TIMM, L. C. Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações. Editora Manole Ltda. Barueri SP. 2004.

RIBEIRO, J. F; DIAS, T. Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação, **Ministério do Meio Ambiente** - Brasília, MMA. 2007.

RIBEIRO, J.F., WALTER, B.M. T, Fitofisionomia do bioma Cerrado. In: Sano, S.M., Almeida, S.P. de. Cerrado: Ambiente e flora. Planaltina: **EMBRAPA/CPAC**. p.87-166, 1998.

RIZZINI, C.T. Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos. São Paulo: **HUCITEC/EDUSP**, v.2, 374p, 1979.

RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E.M.; TEIXEIRA, A.S; SILVA, B.B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento Remoto. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.29, n.3, p. 452-465, 2009.

RODRIGUES, T.R; PAULO, S.R; NOVAIS, J.W.Z, CURADO, L.F.A; NOGUEIRA, J. S; OLIVEIRA, R. G., LOBO, F. A; VOURLITIS, G. L. Temporal Patterns of Energy Balance for a Brazilian Tropical Savanna under Contrasting

Seasonal Conditions. **International Journal of Atmospheric Sciences**, v 2013, p.1- 9, 2013.

ROERINK, G. J.; SU, Z.; MENENTI, Relating Crop Water Consumption to Irrigation Water Supply to Remote Sensing. **Water Resources Management**. v.11, p.445-465. 1997.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. A utilização de sensores com resolução moderada (MODIS) no estudo da vegetação na Bacia do Rio Araguari – MG. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia v.33, n.17, p. 91-104. 2005.

RYU, Y.; KANG, S.; MOON, S. K.; KIM, J. Evaluation of land surface radiation balance derived from moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) over complex terrain and heterogeneous landscape on clear sky days. **Agricultura land Forest Meteorology**, v.148, p.1538-1552, 2008.

SANCHES L, ALVES M.C, CAMPELO JÚNIOR J.H, NOGUEIRA J.S, DALMAGRO H.J. Estimativa do coeficiente Priestley-Taylor em floresta monodominante Cambarazal no Pantanal. **Revista Brasileira de Meteorologia** 25 (4): 448-454, 2010.

SANTOS, A. M. dos; GALVÍNCIO, J. D; MOURA, M. S. B. de.; Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para identificação da cobertura fitogeográfica da Bacia Hidrográfica do rio Goiana-PE. In: **Simpósio de Geografia Física do Nordeste**, 2, 2008.

SEBAL - The Surface Energy Balance Algorithm for Land. Disponível em: <<http://www.waterwatch.nl/>>. Acesso em: 23 de Outubro de 2013.

SHILPAKAR, R. L. Geo-information procedure for water accounting: A case of the East Rapti River Basin, Nepal. February, 2003. (Master of Science Thesis), The Netherlands. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.

SHIMABUKURO, Y. E., NOVO, E. M., PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.33, número especial, 1729-1737, 1998.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.

SILVA, B. B., LOPES, G. M., AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, 243-252, 2005b.

SILVA, B. B.; SILVA, S. T. A.; GOMES, H. B. Balanço de Radiação no Perimetro Irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens Orbitais, **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n. 3, p. 143-152, 2011.

SOUZA, J.D.; SILVA, B.B. da; CEBALLOS, J.C. Estimativa da radiação solar global à superfície usando um modelo estocástico: caso sem nuvens. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n.1, p. 31-44, 2008.

TREZZA, R. Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balances with Standardized ground control, 2002 247f. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University. Logan.

TUCKER, C. J. TOWNSHEND, J. R. G., GOFF, T. E. African land cover classification using satellite data. **Science**. V.227, 369-375, 1985.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. 1. E. Brasília, DF. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2000. 532p.

WANG, W; LIANG, S. Estimation of high spatial resolution clear sky long wave downward and net radiation over land surfaces from MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.113, p.745–754, 2009.

WALTHALL, C.; DULANEY, W.; ANDERSON, M.; NORMAN, J.; FANG, H.; LIANG, S. A comparison of empirical and neural network approaches for

estimating corn and soybean leaf area index from Landsat ETM+ imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.92, p.465-474, 2004.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.C5, p.8995- 9005, 1985.

WILLMOTT, C.J.; MATSSURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climete Research**, v.30, p.79-92, 2005.